

Lernspezifische Sicherheitsmechanismen in Lernumgebungen mit modularem Lernmaterial



Vom Fachbereich Informatik
der Technischen Universität Darmstadt
genehmigte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

von

Dipl.-Inform. Frank Graf
aus Aschaffenburg

Referenten der Arbeit:

Prof. Dr. h.c. Dr.-Ing. José L. Encarnação
Prof. Jouko Paaso

Tag der Einreichung:

13 Februar 2002

Tag der mündlichen Prüfung:

27 März 2002

Darmstädter Dissertationen 2002

D17

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Graphisch-Interaktive Systeme im Fachbereich Informatik an der Technischen Universität Darmstadt und in der Abteilung Sicherheitstechnologie für Graphik- und Kommunikationssysteme des Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung in Darmstadt.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. h.c. Dr.-Ing. J. L. Encarnação, der durch vielfältige Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beitrug. Insbesondere dafür, daß er mit dem INI-GraphicsNet eine einzigartige und inspirierende Umgebung für Forschungsarbeiten geschaffen hat und mir die Möglichkeit gab, in diesem Umfeld arbeiten und forschen zu können.

Herrn Prof. Jouko Paaso, der sich freundlicherweise als Koreferent zur Verfügung gestellt hat, danke ich für seine interessierte Durchsicht des Manuskriptes und seine fachkundigen Hinweisen.

Bei meinen beiden Abteilungsleitern, Herrn Dr.-Ing. Rolf Lindner und Herrn Dr.-Ing. Christoph Busch bedanke ich mich dafür, daß sie mir stets als kompetente Ansprechpartner zur Verfügung standen und mir die Freiräume für die Durchführung dieser Arbeit ließen. Ihre gründliche Durchsicht des Manuskriptes und fachlichen Kommentare, insbesondere betreffend die internationalen Standardisierungsaktivitäten auf den jeweiligen Gebieten, waren mir eine wertvolle Hilfe.

Mein Dank gilt auch allen Kollegen und Kolleginnen für die wertvollen, fachlichen Diskussionen, Anregungen und Kommentare. Auch danke ich allen Studentinnen und Studenten, die durch ihre Diplomarbeiten und hilfs-wissenschaftlichen Tätigkeiten zu dieser Arbeit beigetragen haben.

Darüberhinaus bedanke ich mich bei allen wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie den Studentinnen und Studenten des INI-GraphicsNet für das gute Arbeitsklima und die angenehme Zusammenarbeit. Bei meiner Familie bedanke ich mich für deren Verständnis und die Unterstützung und Ermutigung über den gesamten Zeitraum der Arbeit.

Frank Graf

Griesheim, im Januar 2003

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Kapitel 1 <i>Motivation, Zielsetzung und Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse</i>.....	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	2
Kapitel 2 <i>Computer-unterstütztes Lernen</i>.....	5
2.1 Neue Anforderungen	5
2.2 Der Lernprozeß	6
2.2.1 Der Lernzyklus	6
2.2.2 Einsatzmöglichkeiten des Computers	8
Organisation des Lernbetriebs	8
Implementierung von Lernressourcen	8
Durchführung der Wissensvermittlung	9
2.2.3 Bedeutung von Metadaten für das Computer-unterstützte Lernen	9
2.3 Zukünftige Lernformen	10
2.4 Lernmaterial	11
2.4.1 Die drei Lernmaterialebenen	12
2.4.2 Content Aggregation	13
2.5 Das WWW als Realisierungsplattform	13
2.5.1 Vorteile des WWW	13
Multimedia- und Kommunikationsfunktionalitäten	13
Verfügbarkeit guter Werkzeuge	14
Dezentralität	14
Offene Standards	14
Digitales Lernmaterial	14
Distributierbarkeit	14
Anpassung und Wiederverwendung	15
Interaktivität	15
Client-Server Konzept	16
Plattformunabhängigkeit	17
Weite Verbreitung	17
Offenheit	18
2.5.2 Probleme des WWW	18
Flüchtigkeit der Inhalte	19
Rasante Entwicklung versus Standards	19
Technologie-orientiertes Abstraktionsniveau	20
Generelle Sicherheitsprobleme	20
2.6 Lernspezifische Sicherheitsaspekte	21
2.6.1 Benutzerauthentisierung	21
2.6.2 Vertraulichkeit	21
2.6.3 Urheberschaft	22
2.7 Zusammenfassung	23

Kapitel 3	<i>Effektives Lernen</i>	25
3.1	Bedürfnisse und Anforderungen	25
3.1.1	Transport, Export und Import	25
3.1.2	Interoperabilität	27
3.1.3	Wiederverwendbarkeit	27
	Wiederverwendung von Lernmaterial	27
	Wiederverwendung von Design Patterns	28
3.1.4	Anpaßbarkeit	28
3.1.5	Materialpflege	29
3.1.6	Adäquate Unterstützung der unterschiedlichen Lernmaterialebenen	29
3.1.7	Verfügbarkeit	30
3.2	Modulares Lernmaterial	30
3.2.1	Modularität in herkömmlichen computer-basierten Kursen	31
3.2.2	Aufgabenstellung bei der Realisierung eines Lernsystems für modulares Lernmaterial	32
3.3	Stand der Technik	32
3.3.1	Aviation Industry CBT Committee (AICC)	32
3.3.2	ARIADNE	33
3.3.3	Instructional Management Systems Global Learning Consortium (IMS)	33
3.3.4	IEEE Learning Technology Standards Committee (LTSC)	34
3.3.5	Advanced Distributed Learning Initiative (ADL)	35
3.3.6	ISO/IEC JTC1 SC36	36
Kapitel 4	<i>Das Modulare Trainingssystem (MTS)</i>	37
4.1	Überblick über das Modulare Trainings System	37
4.1.1	Zielsetzungen für MTS	37
4.1.2	Funktionsblöcke des MTS	38
4.1.3	Evolution des MTS	40
	DEDICATED	40
	IDEALS	41
	Platinum	42
4.2	Lernmaterialkategorien	42
4.2.1	Die drei Lernmaterialebenen in MTS	42
	Lernobjekte	42
	Lerneinheiten	43
	Lernstrukturelemente	43
4.2.2	Basic Building Block	43
4.2.3	Implementierung in IDEALS	45
	Material Objects	45
	Learning Function Unit	45
	Course Nodes	46
4.2.4	Analyse der Implementierung und Verbesserungsmöglichkeiten	48
	Unterstützte Datenformate	48
	Modularität bei LFUs	50
	Erweiterungen der CDL	50
	Unterstützung von Design Pattern	51

4.3 Metadaten für Lernmatermaterial	52
4.3.1 Selbstbeschreibungen	53
4.3.2 Selbstbeschreibungen in MTS	54
4.3.3 Verwendung von Metadaten für die Suche von Lernmaterial	55
4.4 Referenzen	56
4.4.1 Statische und dynamische Referenzen	57
4.4.2 Notwendigkeit global eindeutiger Namen	58
4.4.3 Referenzen in IDEALS	59
Globaler Namensraum für Referenzen	59
Referenzen in Course Nodes	59
Referenzen in LFUs - DAS MTS-Tag	59
Zeitliche Aspekte beim Materialzugriff in LFUs	61
Probleme aufgrund der Verwendung eines Konverters	64
4.4.4 Verbesserung des Referenzierungsmechanismus	65
Zusammengesetztes Lernmaterial	65
Realisierung des Materialzugriffs	67
HTML-konforme Repräsentation von Referenzen	69
4.4.5 Erweiterung der Funktionalität von Referenzen	73
Einbeziehung von Laufzeitinformationen in virtuelle Referenzen	73
Intelligente Referenzen	74
4.4.6 Vorbedingungen	75
4.5 Lernmaterialverwaltung	77
4.5.1 Das IDEALS Life-cycle Modell für Lernmaterial	77
4.5.2 Erkenntnisse aus IDEALS	78
Registrierung von Lernmaterial	78
Versionsmanagement	79
Der Reviewprozeß	79
4.6 Benutzerprofileinträge	81
4.6.1 Benutzerprofilfunktionalität in IDEALS	81
4.6.2 Unterscheidung von organisatorischen und inhaltlichen Benutzerprofileinträgen	82
4.7 Kurslaufzeitsystem	83
4.7.1 Kursfunktionalitäten	83
4.7.2 Realisierung der Kursablaufsteuerung in IDEALS	84
Repräsentation der Kursstruktur	84
Kursnavigation	85
Suspend/Resume	87
Inhaltsverzeichnis und freie Navigation	87
Lesezeichen und History	88
Annotations und kontextsensitive Hilfe	89
Globale Kursservices	89
4.7.3 Verbesserung in der Realisierung der Kursablaufsteuerung	89
Verwendung eines WWW-Browsers versus selbst-entwickelter Anwendung	89
MTS-Systemarchitektur	90
Navigationmetaphern	91
4.8 Sicherheitsaspekte in IDEALS MTS	91
4.9 Zusammenfassung	92

Kapitel 5	<i>Sicherheitsaspekte beim Computer-unterstützten Lernen</i>	95
5.1	Allgemeine Bedürfnisse und Anforderungen	95
5.1.1	Vertraulichkeit	95
5.1.2	Authentizität	95
5.1.3	Integrität	96
5.1.4	Verbindlichkeit	96
5.1.5	Urheberschutz	96
5.2	Stand der Technik	97
5.2.1	Verwendete Terminologie	98
5.2.2	Verschlüsselung	98
	Symmetrische Chiffren	98
	Der Data Encryption Standard (DES)	98
	Der Advanced Encryption Standard (AES)	99
	Asymmetrische Chiffren	99
	Das Verfahren von Rivest, Shamir und Adleman	99
	Hybrid-Verfahren	99
5.2.3	Secure Socket Layer - SSL	100
	Nicht-Abstreitbarkeit	100
	Persistente Verbindungen	100
	Wiederverwendung von Sessions (Session Caching)	101
5.2.4	Elektronische Signaturen	101
	Hash-Verfahren	101
	MD5	102
	SHA-1	102
5.2.5	Digitale Wasserzeichen	102
5.2.6	Authentisierungsverfahren	103
	Authentisierung durch Wissen	103
	Authentisierung durch Besitz	104
	Authentisierung durch persönliche Merkmale (Biometrische Verfahren)	105
Kapitel 6	<i>Sicherheitsanalyse</i>	107
6.1	Identifizierung der zu schützenden Werte	107
6.1.1	Lernmaterial als wertvolles Gut	107
	Wissen als Produktionsmittel	107
	Wissen als Ware	107
	Hoher Erstellungsaufwand Lernmaterial	108
6.1.2	Integrität der Zertifizierung	109
6.2	Identifizierung der Bedrohung	109
6.2.1	Vertraulichkeit	109
	Vertraulichkeit des Lernprozesses	109
	Vertraulichkeit der Inhalte	109
6.2.2	Zuverlässige Benutzerauthentisierung	109
	Benutzerverwaltung	110
	Authentizitätsnachweis für Benutzeraktionen	110
6.2.3	Unbefugter Zugriff	111
6.2.4	Unbefugte Weitergabe von Lernmaterial	112
6.2.5	Manipulation der Lernerfolgskontrolle	112

6.3 Bewertung der Bedrohungen und potentiellen Schäden	112
6.3.1 Anwendungsszenarien und Sicherheitsbedarf	113
Intranet- versus Internet-basiertes Lernen	113
Geschlossene versus offene Benutzergruppe	113
Abschlußorientiertes versus interessenorientiertes Lernen	114
Individuelles versus organisiertes Lernen	114
Kommerzielle Interessen versus freie Wissensvermittlung	115
6.3.2 Bedrohungspotential bei B2B-Lernszenarien mit vertraulichen Inhalten	115
Kapitel 7 <i>Sicherheitsmaßnahmen</i>.....	117
7.1 Lösungsansätze	117
7.1.1 Vertraulichkeit	117
7.1.2 Authentisierung des Benutzers und seiner Aktionen	118
Bewertung der Verfahren zur Benutzerauthentisierung	118
Authentizität von Benutzeraktionen	119
Rechtliche Regelungen	119
Organisatorische Maßnahmen: Trennung von Lernen und Zertifizierung	120
Authentisierung durch Plausibilitätsanalyse bei integrierter Lernerfolgskontrolle	121
7.1.3 Zugriffskontrolle	121
7.1.4 Technische Maßnahmen zum Schutz des Urheberrechts	121
7.1.5 Maßnahmen zur Erkennung und Verhinderung von Manipulationen	122
7.2 Umsetzungskonzept einer sicheren Lernumgebung	122
7.2.1 Encryption-Enforcement	123
Funktionsweise des Encryption-Enforcements	123
Netzwerkfilterung	125
Wahrung der Vertraulichkeit bei digitalem Datenaustausch	126
7.2.2 Ein automatisiertes Verfahren für die Verfolgung unbefugter Nutzung urheberrechtlich geschützten Materials	126
Automatisches Einbringen von Wasserzeichen	127
Nachweis des Urheberrechts	129
Verallgemeinerung des Verfahrens für Lernmaterial in beliebiger Umgebung ..	131
7.2.3 Semantisches Dokumentmodell für die Verarbeitung, Darstellung und inhaltsbasierte Verfolgung von Dokumenten	131
Unterstützung von sekundärem Urheberrecht	133
7.2.4 Verfolgbarkeit von Abläufen durch das Key Center	133
Verfügbarkeit des Key Centers	134
Standalone-Lernen	134
Verwendungszwecke beim Lernen	137
Auswertung des Nutzungsprotokolls	139
7.3 Zusammenfassung	140
Kapitel 8 <i>Sichere Lernerfolgskontrolle in WWW-basierten Lernumgebungen...</i>	141
8.1 Lernerfolgskontrolle	141
8.2 Vorteile der WWW-basierten Lernkontrolle	141
8.2.1 Aufwandsabschätzung	141
8.2.2 Integration in WWW-basierte Wissensvermittlung	150

8.3	Ein allgemeines Modell für Tests	151
8.3.1	Funktionsblöcke beim Testen	151
8.3.2	Phasen eines Tests	152
	Testauslieferung	152
	Testdurchführung	152
	Testbewertung	154
8.4	Problemfelder beim WWW-basierten Testen	154
8.4.1	Materialauslieferung	154
8.4.2	Sichere Testauswertung	155
8.4.3	Zeitüberwachung	156
8.4.4	Behandlung von Benutzeraktionen	157
8.4.5	Erzeugung von Feedback	158
8.5	Framework zur Lernerfolgskontrolle	158
8.5.1	Systemübersicht	158
8.5.2	Elementare Testservices	160
	Sichere und garantierte Materialauslieferung	160
	Sichere Testauswertung	161
	Zuverlässige Zeitüberwachung	162
	Behandlung von Testereignissen	163
	Erzeugung von Feedback	163
8.5.3	Realisierung der Funktionsblöcke	164
8.5.4	Anbindung an ein Lernsystem	164
8.6	Zusammenfassung	166
Kapitel 9	Anwendungen und Ergebnisse	167
9.1	IDEALS MTS	167
9.1.1	Einsatz des MTS im Verlauf des Projekts IDEALS	167
	SME-Szenario	167
	IHE-Szenario	169
9.1.2	Gegenwärtiger Einsatz des MTS	172
9.2	CIPRESS	172
9.2.1	Details der Implementierung	173
	Verschlüsselungsverfahren in CIPRESS	173
	Wasserzeichenverfahren in CIPRESS	173
	Globales Namensschema	173
9.2.2	Der CIPRESS-Feldversuch	174
9.2.3	Erfahrungen aus der Implementierung	176
	Rechnerleistung	176
	Plattformabhängigkeit	177
9.3	Framework für Lernerfolgskontrolle	177
9.3.1	Erstellen und Hinzufügen neuer Testklassen	178
9.3.2	Erstellen neuer Testinstanzen	181
9.3.3	Beispiel für eine interaktive Testklasse	183

Kapitel 10	<i>Zusammenfassung und Ausblicke</i>	185
10.1	Zusammenfassung	185
10.2	Aufgabengebiete für zukünftige Arbeiten	186
10.2.1	Weiterentwicklung im Bereich MTS	186
	Entwicklung im WWW	186
	Systementwicklung	187
	Design Pattern	187
	Gruppenlernen	188
	Aufbau von Lern-Communities	188
10.2.2	Weiterentwicklung im Bereich Sicherheit	188
	Technische Entwicklung	188
	Rechtliche Entwicklungen	189
	Benutzerauthentisierung	189
	CIPRESS	189
	Digitale Wasserzeichen	189
10.2.3	Weiterentwicklung im Bereich Lernerfolgskontrolle	190
10.2.4	Neue Lernformen	190
Anhang A	<i>Das MTS-Tag</i>	193
Anhang B	<i>Selbstbeschreibung und LOM</i>	195
B.1	Course Node Selbstbeschreibung als LOM	195
B.2	Function Unit Selbstbeschreibung als LOM	196
Bibliographie		197
Liste der Abkürzungen		205
Abbildungsverzeichnis		207
Tabellenverzeichnis		209
Definitionsverzeichnis		211
Index		213
Lebenslauf		217

Motivation, Zielsetzung und Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Durch den Einsatz von multimedialem Lernmaterial lassen sich akustische, bildliche und zeitliche Aspekte des Stoffes anschaulich vermitteln. Dies ist zwar durch den Einsatz von Film, Video und Audio auch ohne den Computer möglich, aber, während man so für jede Art von Multimediamedium spezielle Wiedergabegeräte benötigt (Dia- oder Filmprojektor, Tonband, Videorecorder usw.), ist der Computer ein universelles Abspielgerät für alle Arten von multimedialem Lernmaterial. Bei Computer-unterstütztem Lernen (CAL) geht es jedoch um mehr als nur um eine graphisch bzw. multimedial aufbereitete Darstellung von Lerninhalten. Viel wichtiger als diese Erweiterung der Darstellungsmöglichkeiten ist, daß der Computer mehr kann als einem passiven Schüler die zu vermittelnden Inhalte zu präsentieren. Mit dem Computer kann der Schüler aktiv den Lernprozeß mitgestalten. Dabei kann der Computer die spezifischen Bedürfnisse und Vorlieben, das Vorwissen und den Lernerfolg eines Schülers berücksichtigen und die Wissensvermittlung so effizienter gestalten. Darüber hinaus kann dem Schüler durch die Integration interaktiver Simulationen die Möglichkeit gegeben werden, quasi aus eigener Erfahrung zu lernen. Dies ist eine der effizientesten Lernformen [35].

Der Computer ist also nicht nur ein besseres (multimediales) Lehrbuch, sondern er bietet Möglichkeiten, die weit über die eines Buches hinausgehen. In vielen Bereichen kann der Computer den menschlichen Lehrer vertreten oder ihn doch zumindest signifikant entlasten [32]. Menschliche Lehrer sind eine kritische Ressource für das Lernen, denn sie stehen weder in unbegrenzter Anzahl zur Verfügung, noch ist jederzeit und überall ein menschlicher Lehrer verfügbar. Können Aufgaben des menschlichen Lehrers dem Computer übertragen werden, so lassen sich viele Beschränkungen der heutigen Lernformen überwinden, denn ein Schüler kann im Prinzip überall und jederzeit auf den Computer zugreifen, und digitales Lernmaterial läßt sich in beliebiger Zahl vervielfältigen.

Aufgrund all dieser Möglichkeiten wurde, insbesondere seit es PCs gibt und jedermann auch potentiell Zugang zu einem Computer hat, versucht, das Potential, das in dem Computer steckt, für das Lernen zu erschließen. Beispielsweise befaßt sich Bork seit über 30 Jahren mit diesem Thema [31] [32] [33]. Auch van Dam hat an der Brown University bereits in den frühen 80er Jahren gezeigt, wie sich Lernen mit dem Computer realisieren läßt [28] [29]. Daß das Thema Computer-unterstütztes Lernen jetzt wieder verstärkt in den Mittelpunkt des Interesses rückt, liegt an den jüngsten Entwicklungen im IT-Bereich. Der rasante Fortschritt der technischen Entwicklung hat einen steigenden Lernbedarf zur Folge, da im technischen Bereich Wissen in immer geringeren Zeitspannen veraltet und neues Wissen angeeignet werden muß. Die zunehmende Leistungsfähigkeit des Computers und die Vernetzung, insbesondere das WWW, eröffnen jedoch auch neue Möglichkeiten für die Unterstützung des Lernens.

1.1 Aufgabenstellung

Diese Arbeit befaßt sich mit der Fragestellung, wie eine Umgebung für Computer-unterstütztes Lernen beschaffen sein muß, mit der Wissen effizient vermittelt werden kann, und wie sich in einer solchen Lernumgebung die Vertraulichkeit der Lerninhalte, der Schutz des Urheberrechts und die Integrität der Lernerfolgskontrolle sicherstellen läßt.

Eine Vielzahl von Lern-Dienstleistungsanbietern, die auch als Trainingsprovider bezeichnet werden, ein sich über die gesamte Lebensspanne erstreckender Lernbedarf und eine zunehmende Mobilität der Bevölkerung führen zum „nomadisierenden Lerner“. Die erwünschte Konkurrenz der Anbieter und die von den Abnehmern geforderte Auswahl- und Wechselmöglichkeit bezüglich der Anbieter machen eine Normung der Schnittstellen zwischen den Lernmaterialien und den Plattformen in Verbindung mit einer Normung der Lernmaterialarchitektur und einer Normung der Schnittstellen für weitere verwendete Dienste (insbesondere Import und Export von Lernmaterialien und Lernerinformation) sinnvoll für alle Beteiligten. Hieraus ist der aktuelle Stand der Technik zu verstehen.

Diese Arbeit ist bewußt auf das „Lerner“/„Rechner“-Szenarium eingeschränkt worden, in der der Rechner menschliche Experten vertritt und dem Lerner im Grenzfall (in dem menschliche Hilfe nicht oder nicht in der erforderlichen Qualität verfügbar ist) die gesamte erforderliche Lernumgebung bietet. Dieses GrundszENARIO ist besonders flexibel, da es keine Präsenzanforderungen an menschliche Experten stellt. Die Herausforderungen, die für diesen Bereich von Relevanz sind und für die in dieser Arbeit Lösungen vorgestellt werden, sind:

- Die Vertretung menschlicher Experten durch Rechner erfordert die Modellierung der menschlichen Expertise, damit diese im Rechner gespeichert und verarbeitet und vom Rechner dem Lerner dargeboten

werden kann. Hieraus leitet sich die Notwendigkeit der Ausweisung (anwendungsbezogener Beschreibung) der Lernmaterialien in Form von kontextspezifischen Metadaten ab.

- ▶ Effiziente Vermittlung erfordert hochqualitative und damit aufwendige und kostspielige Lernmaterialien. Hieraus leitet sich die Notwendigkeit einer kostenverteilenden Vielfachverwendung und dazu der Modularisierung und Kapselung der Lernmaterialien und ihrer Funktionen ab.
- ▶ Aus der Vielzahl menschlicher Rollen in Lernumgebungen und der Spanne von kleinskaligen bis zu großskaligen Sichtweisen auf den Ausbildungsprozeß leitet sich die funktionale Schichtung der Lernmaterialien ab.
- ▶ Die Notwendigkeit der Bereitstellung hochqualitativer Materialien zwingt zu wirtschaftlicher Produktionsweise. Hieraus leitet sich die Bedeutung der Typisierung und der Templatenutzung für Lernmaterialien ab.
- ▶ Aus dem Anspruch, den Rechner stellvertretend für Ausbilder einzusetzen, leitet sich die Wichtigkeit eines leistungsfähigen Kurslaufzeitsystems ab. In ihm wird die Materialarchitektur mit ihren Referenzmechanismen in Aktion gebracht. Zu einer hohen Lernmaterialqualität gehört auch eine hohe Adaptivität an Lerner und Lernsituationen, die bereits im Lernmaterial angelegt und vom Kurslaufzeitsystem umgesetzt werden muß.
- ▶ Aus dem Bedarf, den Wissenstand des Schülers für die Steuerung der Adaptivität und für eine Zertifizierung akkurat ermitteln zu können, leitet sich die Notwendigkeit für eine Benutzerauthentisierung her. Insbesondere für eine verlässliche Zertifizierung ist es notwendig, Benutzeraktionen zweifelfrei einer Person zuordnen zu können.
- ▶ Aus dem hohen Produktionsaufwand für hochqualitatives Lernmaterial leitet sich der Schutzbedarf dieser Materialien ab. Der Inhaber der Urheberrechte wünscht kontrollieren zu können, wer auf seine Lernmaterialien zugreifen darf und wer nicht. Um die Einhaltung von Nutzungsvereinbarungen nachprüfen zu können, ist es für ihn jedoch genauso bedeutsam, nachvollziehen zu können, in welchem Umfang auf sein Lernmaterial zugegriffen wird. Verschärft wird diese Problematik dadurch, daß der Inhaber des Urheberrechts im Normalfall bei der Auslieferung des Lernmaterials an die Schüler die Kontrolle über sein Lernmaterial verliert.
- ▶ Soll Lernmaterial hochsensible Informationen enthalten können, von denen unter allen Umständen verhindert werden muß, daß Außenstehende davon Kenntnis erhalten (z.B. interne Geschäftsstrategien), dann resultiert daraus ein hoher Bedarf an Schutz der Vertraulichkeit. Dafür genügt es nicht, nur die digitalen Verbreitungskanäle zu sichern, sondern es sind auch Maßnahmen gegen die unberechtigte Weitergabe über analoge Kanäle notwendig.
- ▶ Starker Konkurrenzdruck auf dem mittlerweile globalen Arbeitsmarkt erhöht die Versuchung, sich Zertifikate durch Manipulation der Lernerfolgskontrolle zu verschaffen. Hieraus leitet sich die Notwendigkeit zu Gegenmaßnahmen ab.

Auf den Expertiserückfluß vom Lerner in das Lernsystem hinein wird in dieser Arbeit nicht eingegangen, da dieser komplexe Bereich gegenwärtig noch nicht hinreichend erschlossen ist. Auf die Möglichkeiten der Unterstützung des Gruppenlernens über örtliche und zeitliche Grenzen hinweg wird in dieser Arbeit ebenfalls nicht eingegangen: Die Integration dieser Szenarien mit dem in dieser Arbeit vertretenen Szenarium steht noch aus und bietet wissenschaftlichen Stoff für mehrere zukünftige Dissertationen. Auf die Bearbeitung des Umgangs mit personenspezifischen Daten in Lernsystemen wurde in dieser Arbeit ebenfalls verzichtet, da auch hierbei Stoff für mehr als eine weitere Dissertation bewältigt werden müßte.

1.2 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Zunächst befaßt sich diese Arbeit mit der Frage, wie eine Lernumgebung aufgebaut und implementiert werden sollte. Danach wird auf die Sicherheitsaspekte eingegangen, die beim Betrieb einer Lernumgebung von Bedeutung sind. Da es nicht möglich ist, im Rahmen einer Arbeit alle relevanten Sicherheitsaspekte zu behandeln, konzentriert sich diese Arbeit auf die Aspekte: Authentizität von Benutzeraktionen, Schutz des Urheberrechts, Vertraulichkeit der Inhalte und Integrität der Lernerfolgskontrolle.

Diese Arbeit stellt ein modulares Kurskonzept vor und zeigt auf, wie sich durch die Verwendung von modular aufgebautem Lernmaterial – aufgrund der Möglichkeit zur Wieder- und Mehrfachverwendung von Kursteilen – der Aufwand für die Kurserstellung reduzieren läßt. Es wird auch erläutert, wie sich durch die Verwendung separater Modulklassen die unterschiedlichen Ebenen eines Kurses sauber trennen lassen und welche Vorteile sich aus dieser Kapselung ergeben. Anhand einer WWW-basierten Implementierung dieses Kurskonzepts wird dargelegt, welche Punkte bei einer Umsetzung zu beachten sind. Es werden auch Verbesserungsmöglichkeiten zu heute existierenden Implementierungen vorgeschlagen.

Es werden die drei Kategorien von Lernmaterial beschrieben und wie der Zugriff auf Lernmaterial erfolgt. Dieser erfolgt ausschließlich über Referenzen. Das Konzept unterstützt zwei Arten von Referenzen. Bei der

ersten erfolgt die Anfrage über einen global eindeutigen Namen, der keinerlei Auskunft über den Ablageort des Lernmaterials macht. Das ermöglicht die Spiegelung von Lernmaterial durch den Trainingsprovider. Die zweite Art von Referenz identifiziert kein bestimmtes Lernmaterial, sondern enthält nur eine rechnernutzbare Beschreibung der Eigenschaften, über die das referenzierte Lernmaterial verfügen soll. Anhand dieser Information wird zur Kurslaufzeit ein geeignetes Lernmaterial ermittelt. Mit Hilfe derartiger Referenzen lassen sich adaptive Kurse realisieren. Möglich ist dies, weil in dem Kurskonzept Metadaten ein integraler Bestandteil von Lernmaterial sind. In diesem Zusammenhang wird auf folgende Aspekte eingegangen:

- ▶ Vorgehensweise zur Auflösung von Referenzen
- ▶ WWW-konforme Ablage von Lernmaterial. Dort stellt sich vor allem die Frage, wie sich Referenzen darstellen lassen.
- ▶ Zusammengesetztes Lernmaterial, bei dem mehrere Dateien eine logische Einheit bilden
- ▶ Möglichkeiten zur Unterstützung von Design Patterns
- ▶ Spezifikation von Vorbedingungen und deren Auswertung durch das Kurslaufzeitsystem. Damit läßt sich sicherstellen, daß einem Schüler fehlendes notwendiges Grundwissen vermittelt wird, bevor ihm der zu vermittelnde Inhalt präsentiert wird.
- ▶ Möglichkeiten zur Berücksichtigung des aktuellen Kurszustands bei der Auflösung von Referenzen
- ▶ Erweiterung des Referenzmechanismus um die Spezifikation einer Auswahlstrategie zur Steuerung des Verhaltens bei mehrfacher Ausführung einer Referenz

Im Zusammenhang mit der Lernmaterialverwaltung wird der Life-cycle von Lernmaterial vorgestellt, und es wird darauf eingegangen, wie sich die Qualitätskontrolle realisieren läßt. Auch ein Mechanismus zur Versionskontrolle wird vorgestellt. Es wird aufgezeigt, daß es bei Benutzerprofileinträgen eine logische und eine technische Ebene gibt. Die Einträge auf der logischen Ebene enthalten eine Bewertung des Schülers und werden vom Lernmaterial erzeugt. Die Einträge auf der technischen Ebene werden von dem Kurslaufzeitsystem erstellt und beschreiben den Ablauf des Lernvorgangs (z.B. wann Lernmaterial betreten und wieder verlassen wurde). Für die Analyse des Schülerverhaltens ist es hilfreich, beide Arten von Informationen zur Verfügung zu haben.

Es wird beschrieben, welche Funktionalitäten Bestandteil der Kursablaufsteuerung sind und welche Besonderheiten bei der Realisierung zu beachten sind, wenn Lernmaterial modular ist.

Ein grundsätzliches Problem ist die Authentizität von Benutzeraktionen. Durch die Verfahren zur Benutzerauthentisierung kann zwar sichergestellt werden, daß ein bestimmter Schüler in den Lernvorgang involviert war. Dies sagt aber nichts darüber aus, ob die Benutzeraktion wirklich eine Eigenleistung des Schülers ist. Dies sicherstellen zu können, würde einen unbotmäßigen Aufwand erfordern und es nahezu unmöglich machen, daß Schüler orts- und zeitunabhängig lernen können. Es werden Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt, mit denen sich ein ausreichendes Maß an Sicherheit erreichen läßt.

Wegen seiner digitalen Natur ist die Auslieferung von Lernmaterial an einen Schüler im Normalfall gleichbedeutend damit, ihm die Möglichkeit einzuräumen, das Lernmaterial beliebig zu kopieren und weiterzugeben. Es wird ein Konzept für eine sichere Lernumgebung vorgestellt, das durch den Einsatz von obligatorischer Verschlüsselung unrechtmäßige Nutzung und Weitergabe von Lernmaterial über digitale Kanäle verhindert. Durch die Verwendung von digitalen Wasserzeichen kann der Inhaber des Urheberrechts auch bei Lernmaterial, das auf analogem Weg weitergegeben wurde, seinen Anspruch nachweisen.

Bei der Lernerfolgskontrolle gilt es sicherzustellen, daß Schüler Testergebnisse nicht zu ihren Gunsten manipulieren können. In dieser Arbeit wird gezeigt, welche Vorteile es mit sich bringt, die Lernerfolgskontrolle WWW-basiert durchzuführen. Allerdings verfügt das WWW gerade in diesem Bereich nicht über ausreichende Funktionalität. Ausgehend von einem allgemeinen Modell für Tests wird daher ein Testframework entworfen, das als Erweiterung einer Lernumgebung die Testfunktionalitäten bereitstellt, die dem WWW fehlen:

- ▶ Das Testframework stellt sicher, daß zu Beginn eines Tests alles benötigte Lernmaterial vorhanden ist, der Schüler jedoch vor Beginn des Tests nicht darauf zugreifen kann. Damit läßt sich auch ein eindeutiger Zeitpunkt für den Teststart angeben.
- ▶ Durch eine serverseitige Überwachung der Dauer von Tests wird verhindert, daß Schüler durch Manipulation Zeitbeschränkungen für Tests umgehen können.
- ▶ Die Testauswertung wird aus Gründen der Sicherheit auf dem Server durchgeführt. Damit aber die Bewertung nicht nur den Zustand am Ende eines Tests berücksichtigen kann, verwaltet das Testframework auf der Serverseite für jeden aktiven Test einen Testzustand. Ein Schüler hat keinen Zugriff auf den Testzustand.

- ▶ Wenn der Testzustand von den Aktionen des Schülers abhängt, dann muß erkannt werden, wann ein signifikantes Ereignis eingetreten ist, und der Testzustand muß entsprechend angepaßt werden. Das Testframework stellt auch dafür einen Mechanismus bereit.
- ▶ Das Testframework stellt einen Feedback-Mechanismus bereit. Mit diesem lassen sich einem Schüler nach oder während eines Tests Hinweise zum Test zu geben.

Es wird im Detail vorgestellt, wie sich die einzelnen Funktionalitäten so realisieren lassen, daß Manipulationen von Seiten der Schüler ausgeschlossen sind. Dies wird erreicht, indem alle sensitiven Funktionen auf den Server verlagert werden. Das Framework ist erweiterbar und unterstützt neben den herkömmlichen Arten von Tests auch neuartige Konzepte der Lernerfolgskontrolle, bei denen es keine strikte Trennung zwischen Wissensvermittlung und Lernerfolgskontrolle gibt.

Einleitend soll zunächst im Detail auf die neuen Herausforderungen und Möglichkeiten eingegangen werden, die sich aus den jüngsten Fortschritten im IT-Bereich insbesondere in den Gebieten Multimedia und Telekommunikation ergeben. Da sich das WWW immer mehr als die Standardplattform für Computer-unterstützte Lernen (CAL) etabliert, wird auch dargelegt, welche Vorteile aber auch welche Beschränkungen sich aus dem Einsatz des WWW für die Aus- und Weiterbildung ergeben.

2.1 Neue Anforderungen

Das über die Zeit angesammelte Wissen ist heute so umfangreich und auch so spezifisch geworden, daß es für eine einzelne Person unmöglich geworden ist, sich das gesamte Wissen anzueignen. In vielen Bereichen kann eine einzelne Person nicht einmal mehr alle Untergebiete seiner eigenen Disziplin vollständig beherrschen. Für die Ausbildung bedeutet dies unter anderem, daß einer Person während ihrer Schulzeit nicht mehr all das Wissen vermittelt werden kann, das diese später im Berufsleben benötigen wird. Stattdessen kann man nur ein Wissensfundament schaffen, auf dem die Person später aufbauen kann und das sie nach Bedarf ergänzt.

Starken Einfluß auf diese Entwicklung vom *Lernen fürs Leben* hin zum *Lernen auf Bedarf* hat neben dem Umfang des Wissens auch die Tatsache, daß die Geschwindigkeit der technischen Entwicklung sich beschleunigt. Neues Wissen entsteht und veraltet in immer kürzeren Zeitspannen. Will eine Person auf dem aktuellen Stand der Entwicklung bleiben, so muß sie sich dieses Wissen auch in kürzester Zeit aneignen. Das bedeutet aber auch, daß man nicht länger davon ausgehen kann, daß es eine Phase im Leben eines Menschen gibt, in der er sich sein Wissen aneignet (Schule, Universität), und eine, in der er es anwendet (Beruf). Vielmehr wird das Lernen zu einem normalen Bestandteil der täglichen Arbeit¹.

Als Folge dieser Entwicklungen gibt es einen verstärkten Bedarf an kontinuierlicher, lebenslanger Weiterbildung mit starkem Bezug zu der gegenwärtigen Aufgabe. Idealerweise sollte der Anwender, sobald er bei der Lösung eines konkreten Problems eines Wissensdefizits gewahr wird, spontan eine Lernaktivität initiieren können. Diese Lernaktivität vermittelt ihm dann das Wissen, das ihn in die Lage versetzt, sein Problem zu lösen. Aus praktischer Sicht hat das zwei Implikationen. Zum einen muß der Anwender häufiger lernen, und da das Lernen immer mehr zu einem Bestandteil der alltäglichen Arbeit wird, muß das Lernen möglichst nahtlos in den Arbeitsprozeß integriert werden. Die benötigte Infrastruktur und Umgebung muß intuitiv und einfach einzurichten und zu verwenden sein. Auch sollten die anfallenden Kosten so gering wie möglich gehalten werden. Gegenwärtig findet ein Großteil der Weiterbildung in einer Klassenzimmerumgebung statt, oft auch an einem anderen Ort als dem Arbeitsplatz. So fallen neben den Kosten für die eigentliche Weiterbildung oft auch beträchtliche Kosten für Reise und Unterbringung an. Abgesehen von den Kosten, die ein durchaus beträchtliches Niveau erreichen können, hat man, sofern die Weiterbildung an einem anderen Ort als dem Arbeitsplatz stattfindet, auch das Problem, daß der Schüler das neuerworbene Wissen nicht direkt auf ein gegenwärtiges Problem anwenden kann.

Auch die zunehmende Vernetzung verändert die Arbeitsweise und wird in Zukunft noch größere Umwälzungen bewirken. In allen Feldern der Informations- und Kommunikationstechnologie und auch allgemein läßt sich eine Entwicklung von einer Kommunikationsgesellschaft hin zu einer Wissensgesellschaft beobachten.

- ▶ Früher erfolgte der Wissenstransfer vor allem über Medien wie Bücher, Journale, Seminare und Konferenzen. Aufgrund der physikalischen Natur war der Transfer mit einer nicht unerheblichen zeitlichen Verzögerung behaftet. Der vorherrschende Arbeitsstil war ein zeitlich und/oder räumlich isoliertes Arbeiten.
- ▶ Mit der allgemeinen Verfügbarkeit von analogen Netzwerken begann auch die *Informationsgesellschaft*. Das Netzwerk wurde zum Transfermedium, mit dem – trotz der beschränkten Übertragungskapazität – Daten weltweit ohne nennenswerte zeitliche Verzögerungen ausgetauscht werden konnten. Dennoch wurden die Daten noch in heterogenen Datenformaten abgelegt. Auch wenn die Verarbeitung der Daten noch lokal erfolgte und das Netzwerk nur zur Übertragung der Daten zwischen weitgehend voneinander unabhängigen Teilgruppen verwendet wurde, so war dies doch ein erster Schritt in Richtung virtueller Arbeitsgruppen.
- ▶ Das Aufkommen des WWW kann als der Beginn der *Wissensgesellschaft* gesehen werden. Die Verfügbarkeit von digitalen Netzwerkverbindungen mit hoher Übertragungskapazität und die Tatsache, daß inte-

1. Diese rasante Weiterentwicklung spiegelt sich auch in der Entwicklung des Arbeitslebens wieder. Dort findet man einen Trend weg von den klassischen, lebenslangen Stellungen hin zu kurzfristigeren, eher projektartigen Aufgaben.

grierte, digitale Darstellungen für die unterschiedlichen Datentypen verfügbar wurden, machten das Netzwerk zu einem Zugriffsmedium. Heutzutage ist es für die Bearbeitung von Daten weitestgehend ohne Belang, wo die Daten gehalten werden (lokal oder auf einen entfernten Server). In der normalen Arbeitswelt führt dies zur Entstehung von globalen, virtuellen Teams und Zugriff auf Informationen unabhängig von Zeit und Raum. Das entsprechende Paradigma im Bereich Aus- und Weiterbildung sind die virtuellen Universitäten [1][3], an denen Studenten jederzeit und von jedem Ort aus lernen können.

Mit der zunehmenden Bedeutung von Information und Wissen ändert sich auch der Wert, der diesem bzw. den Trägern des Wissens zugemessen wird. Wissen und Information, wie Standards und Patente, werden zu einer Ressource die maßgeblich für den Erfolg eines Unternehmens ist (siehe auch [36]). Als Folge dessen wird geistiges Eigentum auch immer mehr zu einer Ware, die gehandelt werden kann und in zunehmendem Maß auch gehandelt wird. Allerdings ergeben sich in diesem Zusammenhang eine Reihe von technischen, rechtlichen und organisatorischen Fragen. Eine der wichtigsten Fragen ist dabei die Frage, wie sich das geistige Eigentum schützen läßt. Darauf wird in Abschnitt „6.1.1 Lernmaterial als wertvolles Gut“ genauer eingegangen.

2.2 Der Lernprozeß

Das Ziel jeder Art von Lernen oder Lehre ist die Vermittlung von Wissen bzw. von Fähigkeiten. Wissen und Fähigkeiten erwirbt eine Person in der Regel nicht aus sich heraus, sondern eine andere Person (Lehrer¹), die bereits über dieses Wissen oder diese Fähigkeiten verfügt, gibt dieses an die Person (Schüler) weiter. Abbildung 1 stellt dies schematisch dar. Diese Abbildung verdeutlicht, daß die Wissensvermittlung nicht direkt erfolgt, sondern daß sowohl auf Seiten des Schülers als auch auf Seiten des Lehrers eine Interpretation des abstrakten Wissens und eine Umsetzung in ein geistiges Modell erfolgt. Dabei kann nie mit letzter Sicherheit garantiert werden, daß alle beteiligten Personen letztendlich das gleiche geistige Modell verwenden oder daß dieses geistige Modell auch das Wissen oder gar den tatsächlichen Sachverhalt korrekt wiedergibt. Für diese Arbeit von Interesse ist die Tatsache, daß die Wissensvermittlung über ein Medium erfolgt. Die Möglichkeiten und die Beschränkungen dieses Mediums sind von entscheidender Bedeutung für die externe Gestaltung und den Erfolg des Lernens.

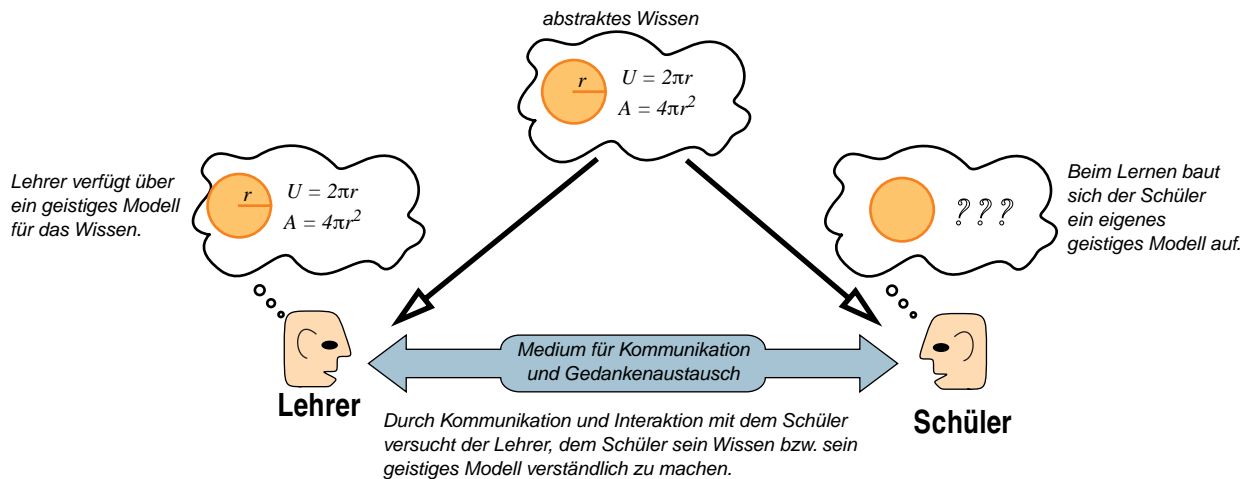


Abbildung 1. Weitergabe von Wissen im traditionellen Lernen

2.2.1 Der Lernzyklus

Der Lernprozeß kann verstanden werden als eine zyklische Abfolge der folgenden vier grundlegenden Funktionen:

- **Zugang zu Lernressourcen.** Diese Funktion macht die Lernressource dem Schüler zugänglich und erschließt diesem die Nutzung derselben. Bei interaktiven Lernressourcen beinhaltet dies auch die Realisierung der Reaktionen auf die Benutzeraktionen.

1. Die Begriffe Schüler und Lehrer stellen keine Klassifikation einer Person dar, sondern beschreiben lediglich die Rolle, die eine Person aktuell im Wissensvermittlungsprozeß einnimmt. Es gibt Szenarien, in der es eine feste Zuordnung von Personen und Rollen gibt, es sind auch Szenarien vorstellbar, bei denen es sich nur aus der aktuellen Situation ergibt, wer der Lehrer und wer der Schüler ist. Die Rollenverteilung kann sich auch ändern.

- **Lernen.** Der Schüler interagiert mit der Lernressource und baut sich dabei sein geistiges Modell auf.
- **Lernerfolgsüberwachung.** Hier wird ermittelt, wie gut das geistige Modell, das sich der Schüler gebildet hat, mit dem übereinstimmt, das vermittelt werden soll.
- **Anleitung.** Ausgehend von der Einschätzung des Lernfortschritts durch die Lernerfolgsüberwachung, wird ermittelt, welche Schritte als nächstes zum Erreichen des Lernziels¹ ergriffen werden sollten, und diese Schritte werden angestoßen, d.h. der Funktionsblock *Zugang zu Lernressourcen* wird instruiert, dem Schüler Lernressourcen für den nächsten Schritt oder die nächsten Schritte zur Verfügung zu stellen.

Abbildung 2 zeigt die Abfolge dieser Funktionen. Dieser Lernzyklus ist ein allgemeines Modell für das Lernen und beschreibt in sehr abstrahierter Form jede Art von Lernen. Diese einzelnen Lernformen unterscheiden sich darin, wie die Funktionen umgesetzt werden, und darin, wer die Funktionen ausführt. Die Abfolge der Funktionen kann tatsächlich strikt sequentiell erfolgen, genauso können die Funktionen aber auch nebenläufig realisiert sein. Die Pfeile in der Abbildung repräsentieren neben dem zeitlichen Aspekt auch den Informationsfluß zwischen den Funktionen.

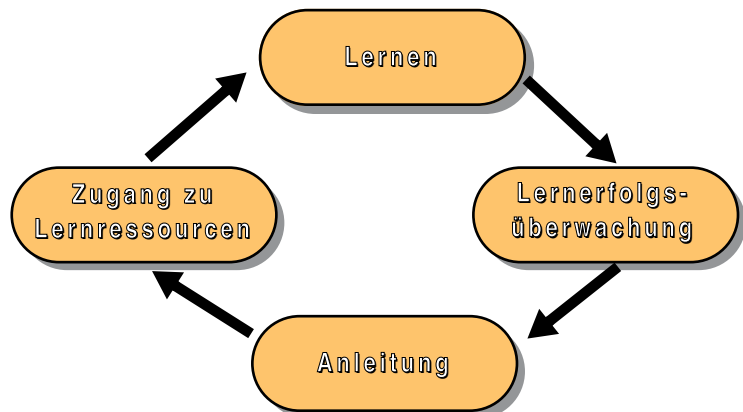


Abbildung 2. Der Lernzyklus

In Tabelle 1 wird für ausgewählte Lernformen gezeigt, wie dort die vorgestellten Funktionen realisiert sind.

Lernform	Zugang zu Lernressourcen	Lernen	Lernerfolgsüberwachung	Anleitung
Lernen aus Büchern	Bibliothek bzw. Buchhandel macht dem Schüler das Buch verfügbar.	Schüler liest Buch.	Schüler schätzt seinen Lernerfolg selbst ein.	Schüler entscheidet, welche der Abschnitte in einem Buch für ihn relevant sind und überspringt nichtrelevante Abschnitte. Er kann sich auch entschließen, weitere Bücher zu lesen.
Vorlesung/ Seminar	Lehrer referiert über das Thema und reagiert auf Zwischenfragen.	Schüler verfolgt den Vortrag des Lehrers und stellt Fragen.	Das allgemeine Verhalten der Schüler, deren Rückfragen und Antworten auf Fragen ^a erlauben es dem Lehrer, den Wissensstand der Schüler einzuschätzen.	Der Lehrer paßt die Vorlesung an, etwa indem er einzelne Themen wiederholt oder durch zusätzliche Beispiele veranschaulicht.
WWW-basierte Lernumgebung	WWW-Browser stellt Lernressource dar.	Schüler interagiert mit den im WWW-Browser dargestellten Lernressourcen	Eine Komponente der Lernumgebung überwacht die Aktionen des Schülers und leitet sie an eine Bewertungsinstanz weiter ^b .	Anhand der Ergebnisse der Bewertungskomponente und den Zielvorgaben entscheidet eine weitere Komponente ^c der Lernumgebung, welche Lernressourcen dem Schüler als nächstes angeboten werden sollen.

Tabelle 1. Beispiele der Realisierung der Lernzyklusfunktionen

- a. Die Fragen können als ein informeller Bestandteil der Vorlesung oder auch formell als eine Prüfung realisiert werden.
- b. Diese Bewertungsinstanz kann sowohl ein menschlicher Lehrer als auch eine Softwarekomponente sein.
- c. Auch diese Komponente kann sowohl ein menschlicher Lehrer als auch eine Softwarekomponente sein.

1. Das Lernziel darf sich im Verlauf des Lernprozesses ändern.

2.2.2 Einsatzmöglichkeiten des Computers

Der Computer läßt sich auf vielfältigste Weise zur Unterstützung des Lernens einsetzen. Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, auch nur annähernd auf all die verschiedenen Ansätze einzugehen. Diese Arbeit beschränkt sich bewußt auf Ansätze, bei denen Aufgaben eines menschlichen Lehrers dem Computer übertragen werden. Nicht eingegangen wird auf Ansätze, bei denen der Computer als Kommunikationsplattform für Gruppenlernen dient, KI-basierte Lernanwendungen oder personalisierbare Bücher in Hypertextformat. In ihren Standardisierungsaktivitäten verwendet AICC [39] für diesen Ansatz auch den Begriff *Computer Managed Instruction* (CMI). Auf diese und andere Standardisierungsaktivitäten wird in Abschnitt 3.3 detaillierter eingegangen. Hinter diesem Ansatz steht die folgende Idee: Weil Softwarekomponenten im Gegensatz zu menschlichen Lehrern beliebig vervielfältigbar sind und auch an jedem Ort und zu jeder Zeit bereitgestellt werden können, kann man die Engpässe in der Aus- und Weiterbildung überwinden, die aus der Beschränktheit der Ressource menschlicher Lehrer resultieren.

Für diese Arbeit ergeben sich somit folgende Definitionen:

Definition 1: Als Lernumgebung wird eine Umgebung bezeichnet, die den in Abbildung 2 gezeigten Lernzyklus realisiert. In einer Lernumgebung findet man die folgenden Funktionen: Bereitstellung und Erschließung von Lernressourcen, Verwendung der Lernressourcen zur Aneignung von Wissen (Lernen), Bewertung des Lernerfolgs eines Schülers und Steuerung der Wissensvermittlung.

Definition 2: Ein Lernsystem ist ein Softwaresystem, das es erlaubt, einem Schüler multimediale und interaktive Inhalte als Lernressourcen zur Verfügung zu stellen. Ein Lernsystem realisiert folgende Funktionen: Bereitstellung und Erschließung von Lernressourcen, Bewertung des Lernerfolgs eines Schülers und Steuerung der Wissensvermittlung.

Definition 3: Unter einem WWW-basierten Lernsystem verstehen wir ein Lernsystem, bei dem der Zugang des Schüler auf die Lernressourcen mit den Mechanismen und Formaten des WWW realisiert wird. Gleiches gilt auch für andere lernspezifische Dienste.

Anhand von Abbildung 2 läßt sich gut verdeutlichen, welche drei grundsätzlichen Einsatzmöglichkeiten es für den Computer in Bereich Lernen gibt. Ein reales Lernsystem wird in aller Regel alle drei Möglichkeiten miteinander kombinieren.

Organisation des Lernbetriebs

Der Computer wird nicht zur Realisierung des eigentlichen Lernprozesses verwendet, sondern dient lediglich zur Realisierung des Lernumfelds. In diesem Zusammenhang ist Computer oft gleichbedeutend mit WWW. Administrative und organisatorische Aufgaben lassen sich über das WWW erledigen (Einschreiben in Kurse, Anmeldung zu Klausuren, Einsicht in Klausurergebnisse usw.), und über das WWW wird auch sonstige Lerninfrastruktur bereitgestellt (Begleitmaterial und Diskussionsforen zu Vorlesungen, Onlinesprechstunden usw.). Der Computer wird somit zum *virtuellen Campus*. So verfügt z.B. die Fernuniversität Hagen über keinen echten Campus sondern nur über einen virtuellen. Ein anderes Beispiel für ein derartiges virtuelles Campussystem ist [65]. Der Begriff *virtueller Campus* soll zum Ausdruck bringen, daß bei dieser Verwendung das Hauptaugenmerk nicht darauf liegt, Lernressourcen bereitzustellen, sondern mehr auf der besseren Verfügbarkeit des Lernumfelds.

Implementierung von Lernressourcen

Der Computer kann dazu eingesetzt werden, Lernressourcen zu realisieren. In diesem Fall setzt der Computer ausschließlich die Funktion *Zugang zu Lernressourcen* um. Den Computer zur Realisierung von Lernressourcen einzusetzen, hat eine Reihe von Vorteilen: Er kann als universelles Abspielgerät für eine Vielzahl von Formaten verwendet werden. Wurde ein Inhalt erst einmal als digitale Lernressource aufbereitet, läßt sich diese Lernressource unbeschränkt vervielfältigen und an jedem beliebigen Ort zu jeder beliebigen Zeit verwenden, ohne daß nennenswerte Kosten anfallen. Die Möglichkeit, auf Aktionen eines Schülers reagieren zu können, ist der größte Vorzug des Computers, was die Realisierung von Lernressourcen angeht. Damit bietet der Computer die Möglichkeit, hochqualitatives Lernen einem großen Nutzerkreis mit geringem Aufwand pro Schüler zugänglich zu machen. Abbildung 7 illustriert dies. Durch den Einsatz von interaktiven Elementen, wie Simulationen, ermöglicht es der Computer dem Schüler, sein neu erworbenes Wissen direkt anzuwenden und es so durch eigene Erfahrungen zu vertiefen. Das ist deshalb von Bedeutung, weil nach Nahrstedt [35] Lernen durch eigene Erfahrung die effektivste aller Lernmethoden ist (siehe Abbildung 3).

Der Computer und insbesondere das WWW kann auch dazu benutzt werden, um Schülern von überall her und jederzeit den Zugriff auf spezielle Ressourcen zu ermöglichen. Der Lehrer kann z.B. benötigte Software auf einem Server installieren. So kann gewährleistet werden, daß die benötigte Software für alle Schüler verfügbar ist, ohne daß sich die Schüler um die Installation, Konfiguration und Wartung der Software kümmern

Was wir alles im Kopf behalten, ... % von dem,

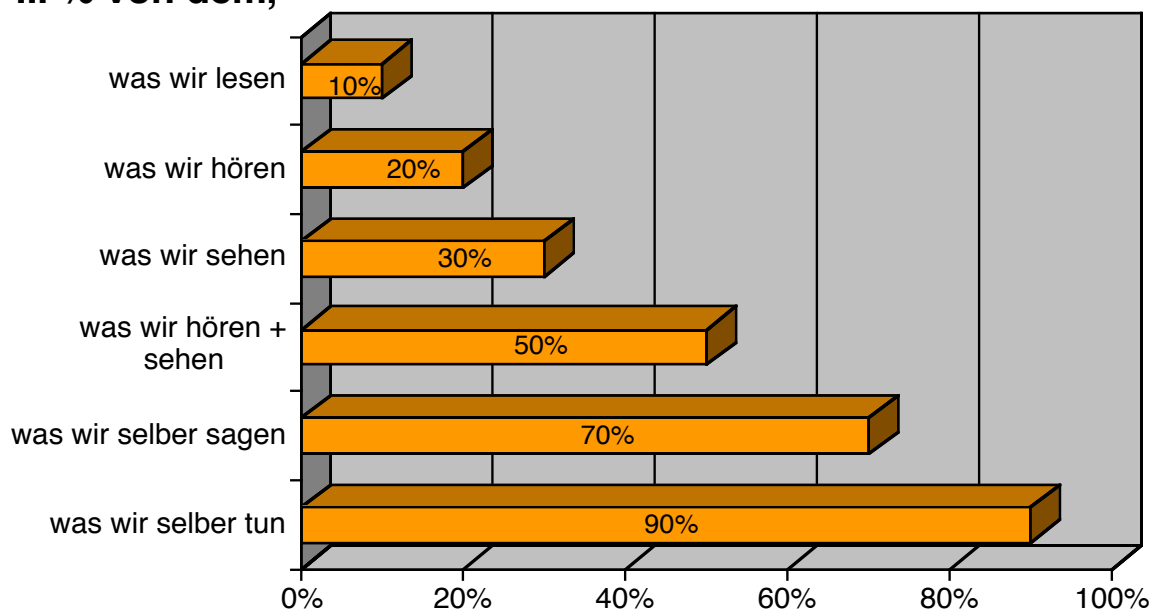


Abbildung 3. Wirksamkeit der unterschiedlichen Wahrnehmungskanäle nach Nahrungstet

müssen. Auch Software, die nicht auf einem Schülerrechner installiert werden kann, z.B. weil dafür spezielle Hardware oder Software benötigt wird oder weil lizenzrechtliche Fragen dies verbieten, kann so verfügbar gemacht werden. Für Lernzwecke ist auch die Zugänglichmachung echter physikalischer Ressourcen interessant. In diesem Fall spricht man auch von einem virtuellen Laboratorium [44], [45]. Schüler können so über das WWW auf real existierende Laborgeräte und Versuchsaufbauten zugreifen und durch Experimentieren den Lernerfolg verbessern. Im Gegensatz zu Mikrowelten, in denen Experimente nur simuliert werden, handelt es sich hierbei um echte Experimente, was die Authentizität erhöht. Mit diesem Ansatz erreicht man eine Erhöhung der Verfügbarkeit und Auslastung der Ressourcen und ermöglicht auch Schülern, die sonst keinen Zugang zu solchen Geräten hätten, mit diesen zu arbeiten.

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, daß allein die Möglichkeit, mit dem Computer hochqualitative Lernressourcen realisieren zu können, die unbeschränkt nutzbar sind, einen großen Vorteil bietet.

Durchführung der Wissensvermittlung

Der Computer kann aber mehr als nur Lernressourcen abspielen, d.h. zu vermittelnde Inhalte wiedergeben. Er kann auch den Verlauf der Wissenssteuerung übernehmen. Das war bisher einem menschlichen Lehrer vorbehalten. Erst wenn es gelingt, daß der Computer auch die Funktionen *Lernerfolgsüberwachung* und *Anleitung* übernehmen kann, läßt sich einer der größten Flaschenhälse in der Aus- und Weiterbildung beseitigen. Der Computer kann einen menschlichen Lehrer aber nur dann in dieser Hinsicht vertreten, wenn ihm auch die diesbezügliche Expertise verfügbar gemacht wird. Im nächsten Abschnitt wird darauf eingegangen, wie sich dies mit Hilfe von Lernmaterial und Metadaten erreichen läßt.

2.2.3 Bedeutung von Metadaten für das Computer-unterstützte Lernen

Für ein Lernsystem sind zwei Arten von Expertise von Bedeutung. Zunächst ist da die fachliche Expertise, die es gilt dem Schüler zu vermitteln. Dies geschieht durch das Ausführen einer Lernressource. Bei Lernressourcen ist es für das Lernsystem nicht direkt ersichtlich, welche fachliche Expertise in diesem enthalten ist. Aber wenn der Computer auch die Wissensvermittlung steuern soll, genügt es nicht, das zu vermittelnde Wissen bzw. die Fähigkeiten als Lernressourcen zu codieren und im Lernsystem abzulegen, denn im Gegensatz zu einem menschlichen Lehrer versteht ein Computer die Lernressourcen nicht. Damit er die Funktionen realisieren kann, muß ihm auch die Information zugänglich gemacht werden, wozu eine bestimmte Lernressource eingesetzt wird, und er benötigt das Wissen des Lehrers darüber, was einem Schüler vermittelt werden und wie dabei vorgegangen werden soll. Auch benötigt er Wissen über den Schüler, z.B. über welches Vorwissen dieser verfügt, was seine Interessen und Vorlieben sind usw.. Diese Informationen repräsentieren Metadaten.

Für ein Lernsystem läßt sich daher das allgemeine Modell (Lernzyklus), wie in Abbildung 4 gezeigt, um Lernressourcen und Metadaten ergänzen. Lernressourcen sind eine Codierung des Fachwissens des Autors und auch seiner Vermittlungsexpertise. Metadaten weisen die (beabsichtigte) Wirkung einer Lernressource aus.

Damit der Funktionsblock *Zugang zu Lernressourcen* seine Aufgaben erfüllen kann, benötigt er den Zugang zu den Lernressourcen, nicht jedoch die beiden anderen Funktionsblöcke. Diese arbeiten ausschließlich auf der Basis von Metadaten. Der Funktionsblock *Lernerfolgsüberwachung* erzeugt selbst Metadaten, die den Lernerfolg des Schülers beschreiben. Der Funktionsblock *Anleitung* entscheidet anhand der Metadaten für den Schüler (aktueller Wissenstand, Lernziele, Vorlieben usw.) und der Metadaten für die Lernressourcen (vermittelter Inhalt, benötigtes Vorwissen, Datenformat, verwendete Sprache usw.), welche Lernressource dem Schüler als nächstes zu präsentieren ist. Dieses Modell entspricht im wesentlichen dem Modell aus dem Standardentwurf IEEE P1484.1/D9, 2001-11-30 *Learning Technology Systems Architecture (LTSA)*, (siehe auch Abschnitt „3.3.4 IEEE Learning Technology Standards Committee (LTSC)“).

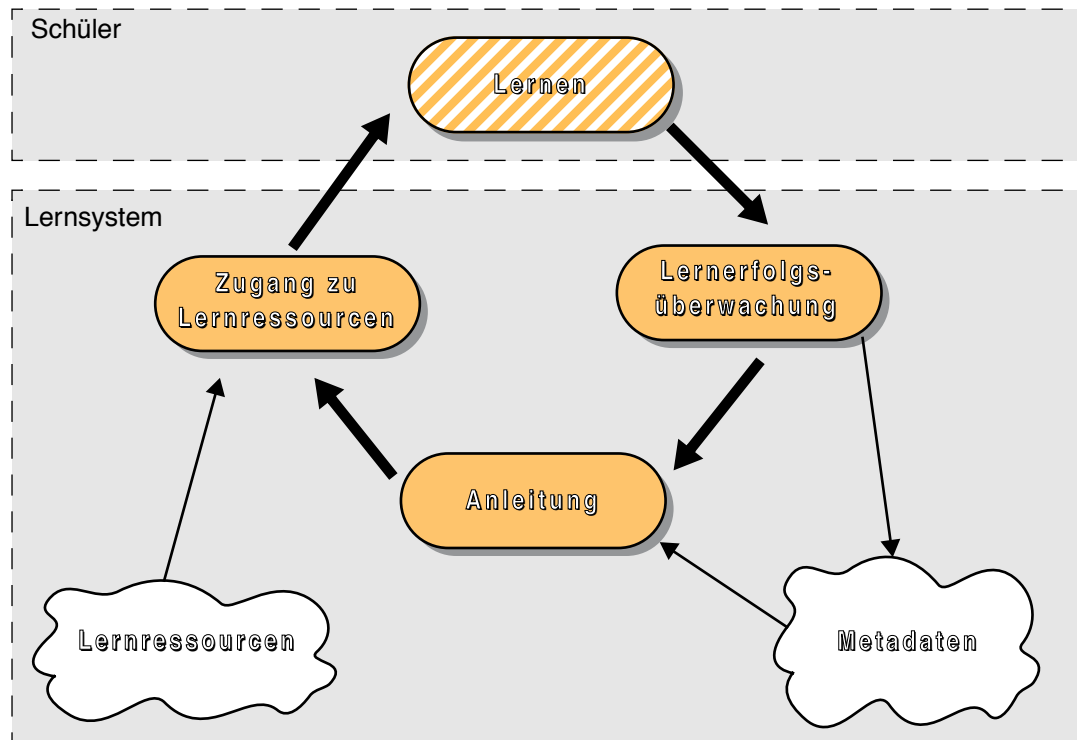


Abbildung 4. Der Lernzyklus bei Verwendung eines computer-basierten Lernsystems

Einerseits beschreiben Metadaten die Eigenschaften und potentiellen Verwendungsmöglichkeiten von Lernmaterial. Damit ermöglichen sie die Suche nach geeignetem Lernmaterial. Andererseits werden Metadaten auch dazu verwendet, den Verwendungszweck von Lernmaterial im Kontext des Kurses zu beschreiben. Solche Metadaten werden als *kontextspezifische* Metadaten bezeichnet. Kontextsensitive Metadaten sind von großer Bedeutung, weil erst sie es der Lernerfolgsüberwachung ermöglichen, die verwendete Lernressource eindeutig einem Themengebiet /Verwendungszweck zuzuordnen. Metadaten sind von entscheidender Bedeutung für ein Lernsystem. Daher wird in dieser Arbeit auf Metadaten noch an mehreren Stellen eingegangen werden.

2.3 Zukünftige Lernformen

Beim traditionellen Lernen ist das wirkungsvollste Medium zur Wissensvermittlung mit Sicherheit die direkte Kommunikation zwischen Schüler und Lehrer. Dabei erhält der Lehrer auch sofort Feedback vom Schüler, anhand dessen er den Lernerfolg des Schülers direkt beurteilen und seine Vermittlungsbemühungen entsprechend anpassen kann. Ideal wäre es, wenn für jeden Schüler ein eigener Lehrer verfügbar wäre. Weil dies aber in der Praxis nicht der Fall ist, sind die Aspekte der zeitlichen und örtlichen Verfügbarkeit der Lehrer von Bedeutung.

Eine Möglichkeit den Mangel an Lehrern auszugleichen ist, daß sich mehrere Schüler einen Lehrer teilen (Klassenzimmer). Je größer die Gruppe dabei wird, desto weniger individuell kann die Wissensvermittlung gestaltet werden, und es gibt auch eine Obergrenze für die Anzahl der Schüler, die ein einzelner Lehrer betreuen kann. Ist ein menschlicher Lehrer involviert, dann erfolgt die Wissensvermittlung auch meistens orts- und zeitabhängig. Audio- und Videokonferenzen oder generell Kommunikationstechnologien erlauben zwar, die Ortsabhängigkeit zu überwinden, diese sind aber nicht so intuitiv wie die direkte Kommunikation, und oft gehen dabei auch wichtige nonverbale Elemente (Gesichtsausdruck, Gestik, Tonfall usw.) verloren. Um örtli-

che und zeitliche Unabhängigkeit beim Lernen zu erreichen, muß man auf die unmittelbare Rückkoppelung vom Schüler zur Person des Lehrers verzichten. Dann lassen sich die Aktionen eines Lehrers auf Medien wie Buch, Fernsehen, Video- oder Audiokassetten aufzeichnen und an einem beliebigen Ort und zu jeder Zeit wiedergeben. Solche Aufzeichnungen können beliebig oft vervielfältigt und verteilt werden, und so kann mit geringem Aufwand einer beliebigen Anzahl von Schülern Wissen vermittelt werden. Allerdings ist der Inhalt dieser Medien statisch, und damit entfällt die Möglichkeit, sich individuell an die Bedürfnisse eines Schülers anzupassen. Bei Computer-unterstütztem Lernen ist der Computer das Vermittlungsmedium. Dieses kann zeit- und ortsunabhängig eingesetzt werden. Durch entsprechende Mechanismen, auf die in dieser Arbeit eingegangen wird, kann der Computer in die Lage versetzt werden, den Lernerfolg des Schülers zu bewerten und den weiteren Verlauf entsprechend anzupassen. Computer-unterstütztes Lernen kombiniert so weite Distributierbarkeit mit individueller Anpaßbarkeit.

Bork [32] argumentiert, daß aufgrund der Beschränktheit der Ressourcen das vorherrschende Lernparadigma die *Informationsvermittlung* ist. Hier wird Lernen als das Ansammeln von Informationen verstanden. Aufbauend auf diesem Verständnis entwickelte sich das gesamte gegenwärtige Bildungssystem (Schulen, Universitäten usw.). Die typischste Ausprägung dieser Art zu lernen ist das Klassenzimmer oder die Vorlesung. Dort präsentiert ein Lehrer die Informationen, und die Schüler sind im wesentlichen nur passive Informationskonsumenten. Bücher und andere Medien basieren auf dem selben Ansatz und präsentieren die Information, gehen aber nicht auf die individuellen Bedürfnisse des Schülers ein. Anders beim *tutoriellen Lernen*. Bei diesem Lernparadigma stehen die individuellen Bedürfnisse des Schülers im Vordergrund. Lernen erfolgt auf individueller Basis oder in Kleingruppen. Die Wissensvermittlung übernimmt dabei ein Tutor¹. Dieser Ansatz entspricht weitestgehend der oben geschilderten Idealvorstellung von Wissensvermittlung. Aber wegen der benötigten menschlichen Ressourcen ist sie auch mit enormen Kosten verbunden. Dies und die Tatsache, daß man niemals genügend Tutoren mit ausreichender Qualifikation finden wird, machen es unmöglich, tutorielles Lernen in dieser Form auf breiter Basis zu verwenden. Bork meint daher, nur mit hochinteraktivem Lernmaterial, bei dem der Computer die Rolle des Tutors übernimmt, ließen sich die zwei großen Herausforderungen an zukünftiges Lernen lösen:

- ▶ Verfügbarkeit von hochqualitativem Lernen für alle. Das Lernen muß effizienter werden, verständlicher und auch ansprechender. Es muß sich den individuellen Anforderungen anpassen und an jedem Ort und zu jeder Zeit verfügbar sein.
- ▶ Vertretbare Lernkosten. Damit auch jedermann und nicht nur der wohlhabende Teil der Menschheit von diesen Möglichkeiten des Lernens auch Gebrauch machen kann, müssen sich die Kosten in einem vertretbaren Rahmen bewegen. Unter Kosten sind dabei die Kosten pro Student zu verstehen. Diese Kosten umfassen sowohl die Kosten für die Erstellung des Lernmaterials, als auch die für die Auslieferung. Wenn Lernmaterial von einer Vielzahl von Schülern genutzt werden kann, dann führt dies zu einer drastischen Reduzierung der Kosten.

Bork [32] vertritt die These, daß der Computer den menschlichen Tutor niemals vollständig ersetzen kann, zumindest nicht den exzellenten, aber der Computer erlaubt tutorielles Lernen für jedermann. Er sagt auch voraus, daß der Übergang zu einem solchen tutoriellen Lernparadigma zu gravierenden Umwälzungen im Bereich Aus- und Weiterbildung führen wird. Universitäten und andere Lehrinstitutionen werden ihre Aufgaben und zukünftige Rolle neu definieren müssen.

Dieser Überzeugung ist auch Gerhard Fischer, der sich am *Center for Life Long Learning and Design* (L3D) an der Universität Boulder mit diesem Thema beschäftigt. Seiner Meinung nach bedarf es einiger grundlegender Umwälzungen auf dem Gebiet Aus- und Weiterbildung, um den in Abschnitt „2.1 Neue Anforderungen“ auf Seite 5 beschriebenen neuen Entwicklungen gerecht zu werden [34]. Er sieht den Computer und die Technologie allgemein durchaus als ein Mittel zur Lösung der anstehenden Probleme, allerdings krankt seiner Meinung nach viele der heutigen Versuche daran, daß einfach die althergebrachten Vorgehensweisen auf das WWW übertragen werden. Er bezeichnet dieses Vorgehen als den *Gift-Wrapping-Approach*. Nach seiner Meinung ist dies der Grund dafür, daß trotz jahrzehntelanger Forschung und Entwicklung der Einsatz des Computers noch keine nachhaltigen Auswirkungen auf das Gebiet der Aus- und Weiterbildung zeigt. Es muß versucht werden, neue Wege zu beschreiten, die den neuen Möglichkeiten und auch den geänderten Anforderungen an das Lernen besser gerecht werden.

2.4 Lernmaterial

Die Überlegungen in Abschnitt 2.2.3 haben gezeigt, daß es für ein Lernsystem nicht ausreichend ist, nur die Lernressourcen bereitzustellen, sondern daß zu Lernressourcen auch immer beschreibende Metadaten

1. Tutorielles Lernen findet man z.B. an englischen Eliteuniversitäten wie Oxford oder Cambridge.

gehören. Erst diese Metadaten versetzen das Lernsystem in die Lage, mit den Lernressourcen richtig umzugehen. Wenn im folgenden von Lernmaterial gesprochen wird, dann bezeichnet dies immer eine Kombination aus Lernressource und Metadaten, die diese Lernressource beschreiben.

Betrachtet man welche Informationen in den Definitionen von Lernmaterial enthalten sind, dann erkennt man, daß es drei verschiedene Ebenen gibt. Diese Ebenen entsprechen den verschiedenen Expertisen, über die Lernmaterialautoren verfügen müssen. Jede dieser Ebenen befaßt sich mit einem anderen Aspekt der Wissensvermittlung. Daher unterscheiden sich die Ebenen in ihrer Sichtweise auf Lernmaterial und in den Aufgabenstellungen.

2.4.1 Die drei Lernmaterialebenen

Im folgenden sollen die drei Ebenen, die in Abbildung 5 gezeigt werden, vorgestellt werden.

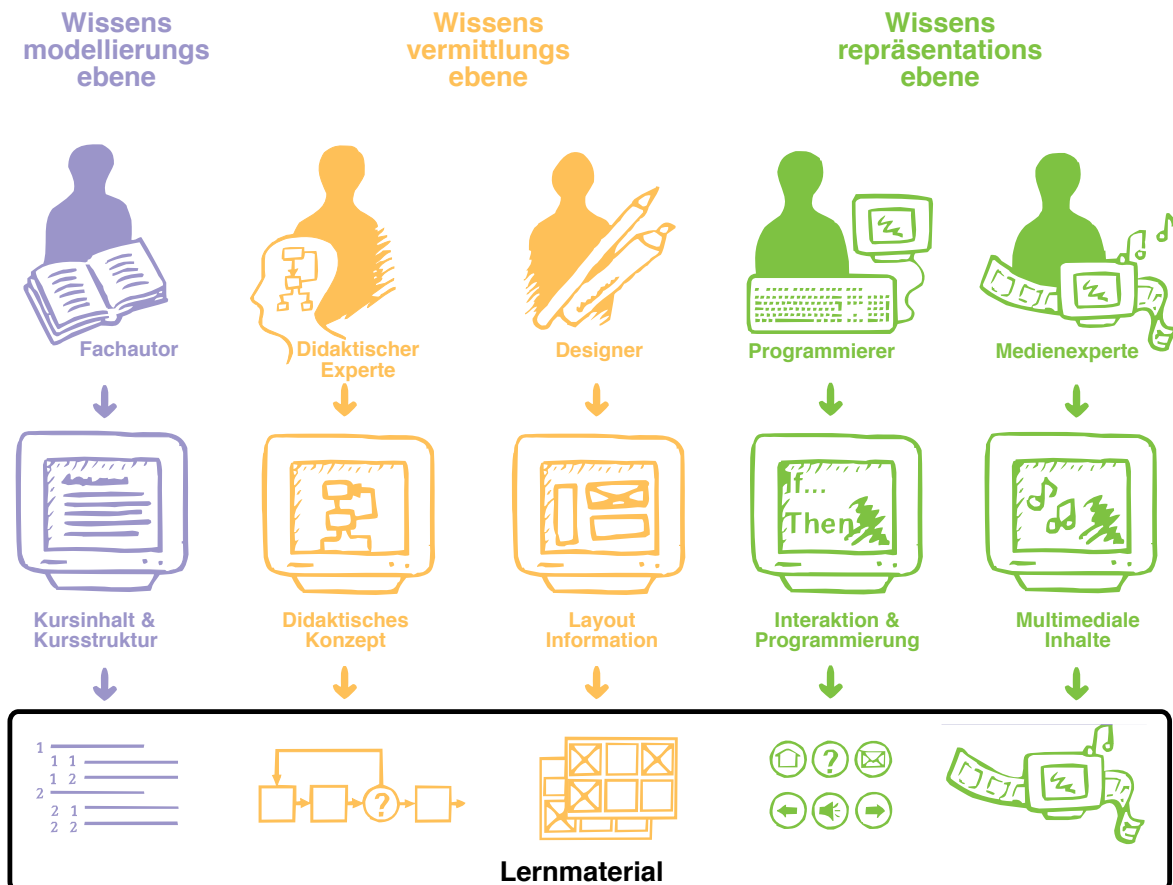


Abbildung 5. Autorenkategorien und Werkzeuge

Die *Wissensmodellierungsebene* bildet die oberste Ebene. Hier wird festgelegt, wie der Lernprozeß abläuft, d.h. wie der Schüler sein geistiges Modell aufbaut (siehe Abbildung 1). Die Hauptaufgabe auf dieser Ebene ist die Festlegung und Organisation der Lernschritte zur Erreichung des gewünschten Lernziels (Kursstruktur). Dabei ist es unumgänglich, eine hierarchische Gliederung der Lernschritte der inhaltlichen Breite nach und der Detaillierung nach vorzunehmen. Deshalb muß auf dieser Ebene eine rekursive Definition möglich sein. Um Lernmaterial wiederverwenden zu können ist eine Kapselung nach Inhalt und Detaillierungsgrad unverzichtbar.

Auf der *Wissensvermittlungsebene* geht es darum, die einzelnen Lernschritte umzusetzen. Für jeden Lernschritt wird festgelegt, wie das codierte fachliche Wissen aus der untersten Schicht in für den Lernschritt sinnvolle Interaktion mit dem Lerner gebracht werden kann, um die auf der Wissensmodellierungsebenen festgelegten Lernziele in konkrete Lernschritte umzusetzen. Dazu bedarf es der Expertise in den Bereichen Pädagogik und Design. Zu den Aufgaben auf dieser Ebene gehört neben der Auswahl von geeignetem, codiertem Fachwissen die Erstellung von Layout- und Interaktionskonzepten und deren Umsetzung für die Lernschritte. Während auf der Wissensmodellierungsebene das Hauptinteresse den konzeptionellen Aspekten gilt und technische Aspekte keine Rolle spielen, ist es auf der untersten Ebene genau umgekehrt. Daher gilt es auf dieser Ebene die Anforderungen, die sich aus der Wissensmodellierungsebene ergeben, mit den Möglichkeiten der Wissensrepräsentationsebene in Einklang zu bringen.

Das Lernmaterial der untersten Ebene, der *Wissensrepräsentationsebene*, stellt codiertes Fachwissen dar. Die Codierung kann dabei unter Nutzung unterschiedlicher Medien stattfinden (Bilder, Text, Animationen, Video usw.). Auf dieser Ebene findet man den Fachexperten, der seine fachliche Expertise einbringt. Ihm zur Seite stehen die Materialexperten, die über das nötige (technische) Wissen und die Fertigkeiten zur Erstellung und Bearbeitung der verschiedenen Medien verfügen. Bei diesen handelt es sich um Programmierer für komplexe, interaktive Materialien oder Grafiker, Videotechniker und Computeranimateure für elementares Multimediainhalt. Wegen der Vielfalt von Multimediaformaten und weil die Erstellung eines jeden dieser Formate spezielle technische Kenntnisse und Fertigkeiten erfordert, gibt es nicht nur einen Materialexperten, sondern Materialexperten für jedes der Datenformate.

2.4.2 Content Aggregation

Damit Kurse an Schüler ausgeliefert und von diesen ausgeführt werden können oder Lernmaterial an andere Trainingsprovider weitergegeben werden kann, muß es möglich sein, Lernmaterial zu größeren Einheiten zusammenzufügen.

Definition 4: Das Zusammenfügen von Lernmaterial zu größeren Einheiten (Kursen), die als solche ausgeführt und weitergegeben werden können, wird als **Content Aggregation** bezeichnet.

Im Zusammenhang mit der Content Aggregation sind folgende Fragen von Interesse:

- ▶ Welche Arten von Lernmaterial gibt es, was ist deren Funktionalität und wie werden sie repräsentiert?
- ▶ Wie wird Lernmaterial durch Metadaten beschrieben (Datenmodell)? Hier stellen sich Fragen wie: Wie erfolgt die Zuordnung zwischen Metadaten und Nutzdaten (Lernressourcen)? Wieviele Metadaten dürfen mit einer Lernressource assoziiert sein (n:1 oder 1:1 Relation)? Welche Information ist in den Metadaten enthalten?
- ▶ Wie läßt sich Lernmaterial ansprechen: über einen global eindeutigen Namen oder über kursspezifische Namen? Gibt es außer dem Zugriff über einen Namen noch weitere Zugriffsmechanismen, etwa über einen auf Metadaten basierenden Suchmechanismus?
- ▶ Wie lassen sich einzelne Lernmaterialien zu einem Kurs zusammenfassen, und wie lassen sich Kurse weitergeben?

2.5 Das WWW als Realisierungsplattform

2.5.1 Vorteile des WWW

Warum das WWW sich in den letzten Jahren als die wichtigste Plattform für Computer-unterstütztes Lernen etabliert hat versteht man, wenn man sich vor Augen führt, welche Vorteile sich aus seinem Einsatz ergeben:

Multimedia- und Kommunikationsfunktionalitäten

Ein wichtiger Vorteil ist sicherlich, daß das WWW alle für die Wissensvermittlung benötigten elementaren Grundfunktionalitäten bereitstellt. So unterstützt das WWW die ganze Bandbreite von Multimediaformaten. Wichtig dabei ist aber nicht nur der Umfang der unterstützten Multimediaformate, sondern vor allem die Tatsache, daß sich diese in einer Art und Weise kombinieren lassen, so daß für den Benutzer ein homogener Gesamteindruck entsteht¹. Neben diesen Multimediafunktionalitäten stellt das WWW auch

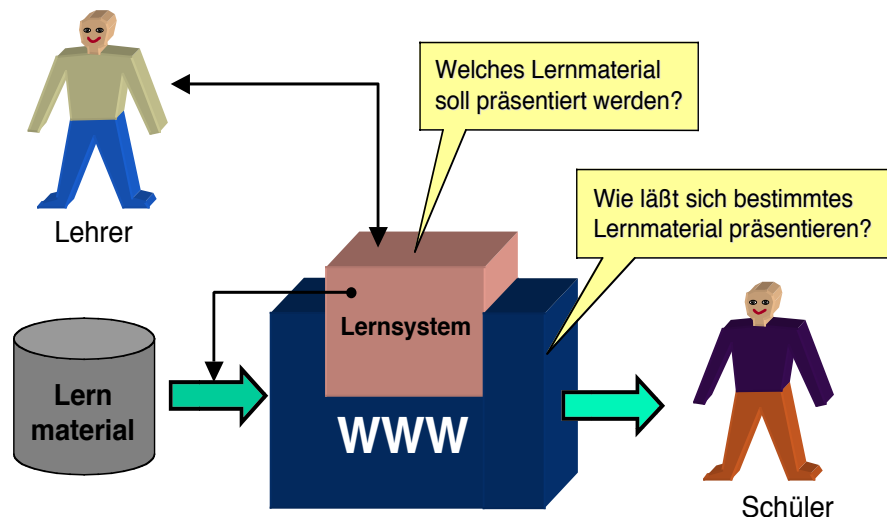


Abbildung 6. WWW als Basistechnologie für das Lernen

1. In vielen Browsern sind derartige Funktionalitäten bereits integriert. Sollte dies nicht der Fall sein, dann erlauben die meisten Browser zumindest die Integration externer Anwendungen, so daß der Benutzer den Eindruck einer integrierten Umgebung hat.

Grundfunktionalitäten im Bereich Kommunikation (z.B. eMail oder News) zur Verfügung. Verwendet man das WWW zur Realisierung von Lernanwendungen, muß der Autor/Entwickler lediglich eine Komponente zur Steuerung der Wissensvermittlung realisieren (Abbildung 6 veranschaulicht dies), nicht aber die Grundfunktionalitäten, was eine enorme Arbeitersparnis darstellt.

Verfügbarkeit guter Werkzeuge

Ein weiterer Vorteil des WWW ist, daß es eine reichhaltige Auswahl an Werkzeugen für die Erstellung von HTML-Dokumenten und anderem Multimediamaterial gibt. Daher kann ein Autor die Werkzeuge wählen, die seinen Bedürfnissen am besten entsprechen. Die meisten Werkzeuge ermöglichen es auch Autoren ohne spezielles Fachwissen oder großen Lern- und Einarbeitungsaufwand, schnell erste Ergebnisse zu erzielen. Das hat sicherlich positive Auswirkungen auf die Motivation und erschließt die Nutzung des WWW einem breiten Autorenkreis. Um aber Lernmaterial von hoher Qualität zu erstellen, bedarf es speziellen Fachwissens und Erfahrung.

Dezentralität

Dezentralität war eines der zentralen Designkriterien für das WWW. Aus technischer Sicht ist sie die Voraussetzung für dessen gute Skalierbarkeit und Robustheit. Jeder WWW-Server ist eine eigenständige Einheit, und falls er Probleme hat, haben diese keinerlei Auswirkungen auf andere WWW-Server. Da das WWW auf die existierende Netzwerkinfrastruktur aufsetzt und keine zusätzlichen zentralen Dienste oder Ressourcen verwendet, fällt – abgesehen von der intern notwendigen Verwaltung – kein administrativer Aufwand für den Betrieb des WWW an.

Die Tatsache, daß jedermann mit vergleichsweise geringem Aufwand netzwerkweit als Anbieter von Inhalten oder Diensten auftreten kann und dies nicht nur Wenigen, die über die entsprechenden Mittel verfügen, möglich ist, erlaubt eine breite Angebotsvielfalt und trägt so auch zu der Meinungsfreiheit bei.

Offene Standards

HTML und HTTP aber auch JavaScript und XML, die den Kern des WWW ausmachen, sind keine proprietären Datenformate bzw. Protokolle, sondern öffentlich verfügbare Standards. Für das Funktionieren des WWW ist die Existenz und die Einhaltung von existierenden Standards von entscheidender Bedeutung, da nur so das problemlose Zusammenspiel aller beteiligten Komponenten sichergestellt werden kann. Die Pflege und Weiterentwicklung dieser Standards obliegt mittlerweile dem *World Wide Web Consortium* (W3C) [18] mit seinen gegenwärtig¹ etwa 500 Mitgliedern, darunter auch alle für die technische Entwicklung maßgeblichen Firmen und Institutionen. Durch seine Organisationsform und die Möglichkeit für jedermann zur Mitsprache bei der Erstellung der Recommendations wird ein größtmögliches Maß an Hersteller- und Marktunabhängigkeit gewährleistet und so sichergestellt, daß die Interessen aller Beteiligten angemessen berücksichtigt werden und keine Interessensgruppe die Oberhand oder gar die alleinige Kontrolle über die Standards hat.

Digitales Lernmaterial

Beim WWW-basierten Lernen liegt das Material in digitaler Form vor, was eine Reihe von Vorteilen in bezug auf die Distribution des Lernmaterials mit sich bringt:

- ▶ Digitales Lernmaterial läßt sich unabhängig von seinem Medientyp auf jedem digitalen Datenträger speichern und benötigt keine speziellen Datenträger wie etwa Bücher, CDs, Filme oder Videokassetten. Der Computer dient dabei auch als universelles Abspielgerät.
- ▶ Digitales Lernmaterial kann beliebig oft kopiert und weitergegeben werden, ohne daß es dabei zu Qualitätsverlusten kommt oder nennenswerte Kosten entstehen. Digitale Daten lassen sich über das Netzwerk direkt an jeden beliebigen Ort der Welt transportieren. Damit kann ein Anbieter darauf verzichten, ein eigenes Vertriebsnetz aufzubauen.
- ▶ Da keine materielle Übertragung notwendig ist, sondern nur immaterielle Daten zu übermitteln sind, kann digitales Lernmaterial über das Netzwerk übermittelt werden und zwar schneller als es bei materiellem Transport möglich ist. Die Entfernung zwischen Sender und Empfänger ist dabei nicht von Belang.

Distributierbarkeit

Ein weiterer wichtiger Vorteil des WWW ist sein integrierter Distributionsmechanismus (HTTP). Die Verwendung von HTTP als Distributionsmechanismus erlaubt den unmittelbaren Zugriff auf entferntes Material. Durch die Art und Weise des Zugriffs (on-demand) läßt sich die Aktualisierung von Material einfach realisieren. Bei HTTP ist der notwendige Verwaltungsaufwand minimal. Jedermann kann direkt auf alles verfügbare

1. Stand Februar 2002

Lernmaterial zugreifen; die Bereitstellung von Material erschöpft sich im wesentlichen darauf, das Material an eine bestimmte Stelle im lokalen Dateisystem des Trainingsproviders zu kopieren.

Anpassung und Wiederverwendung

Ein weiterer Vorteil des WWW ist, daß das Lernmaterial für einen Kurs nicht, wie etwa bei Autorensystemen, als ein monolithischer Block abgelegt wird, sondern daß jedes Lernmaterial eine eigenständige Einheit bleibt und auch als solche angesprochen werden kann. Monolithische Kurse lassen sich zwar einfach weitergeben. Die Kehrseite dieser monolithischen Kurse ist jedoch, daß, wenn das gleiche Lernmaterial in zwei unterschiedlichen Kursen verwendet werden soll, jeder Kurs eine eigene Kopie des Lernmaterials enthalten muß. Das führt zu einem erhöhten Speicherplatzbedarf und vor allem zu Problemen mit unterschiedlichen Versionen. Wird Lernmaterial geändert – etwa weil es aktualisiert oder gar ein Fehler korrigiert wurde – dann müssen alle vorhandenen Kopien geändert werden. Im WWW hat man dieses Problem nicht, da jedes Lernmaterial nur einmal abgelegt wird. Als Nebeneffekt führt die Wiederverwendung von Lernmaterial zur einer Reduktion des Speicherplatzbedarfs. Wichtiger als die Vorteile zur Laufzeit des Kurses sind jedoch die Vorteile, die sich aus der Wiederverwendung für das Erstellen von neuem Lernmaterial ergeben. Soll in einem neuen Kurs Lernmaterial wiederverwendet werden, das bereits in anderen Kursen zum Einsatz kommt, kann im WWW dieses Lernmaterial direkt verwendet werden. Bei monolithischen Kursen muß dieses Lernmaterial zumeist erst mühsam aus den monolithischen Daten des existierenden Kurses extrahiert werden. Das WWW vereinfacht bei der Erstellung von neuen Kursen die Wiederverwendung von Lernmaterial bedeutend und trägt so zu einer signifikanten Arbeitserleichterung und Kosteneinsparung bei.

Das Zusammenfassen von Lernmaterial zu festen Einheiten beinhaltet stets auch eine Vorauswahl und eine Beschränkung auf diese Auswahl. Da der Lehrer diese Auswahl vor der Benutzung durch einen Schüler trifft, kann er nicht dynamisch auf das Verhalten des Schülers reagieren. Er kann lediglich im voraus unterschiedliche Alternativen bereitstellen. Dabei kann er versuchen, eine Lerneinheit möglichst minimal zu gestalten, d.h. so, daß jedes in der Einheit enthaltene Lernmaterial auch tatsächlich verwendet wird. Im Extremfall wäre das gleichbedeutend mit dem Verzicht auf Alternativen. Sieht er dagegen, um eine möglichst breite Auswahl zu haben, möglichst viele Alternativen vor, unter denen sich mit hoher Wahrscheinlichkeit zumindest eine passende Alternative befinden sollte, dann bläht das die Größe der Einheiten auf und führt dazu, daß nur Teile des Lernmaterials auch wirklich verwendet werden. Ein Autor wird solch eine Einheit nicht für einen individuellen Schüler zusammenstellen, sondern für eine ganze Kategorie von Schülern. Dabei können die individuellen Eigenarten eines Schülers, wenn überhaupt, nur im Rahmen von allgemeinen Stereotypen berücksichtigt werden.

Verzichtet man auf größere Lerneinheiten und ermöglicht dem Schüler, zu jeder Zeit auf jedes existierende Lernmaterial zugreifen zu können, dann kann das für ihn optimale Lernmaterial verwendet werden. Da die Auswahl nun nicht mehr länger vor der Benutzung getroffen werden muß, sondern erst unmittelbar bei Bedarf vorgenommen werden kann, kann die aktuelle Situation optimal in Betracht gezogen werden. Praktikabel wird dies aber erst, wenn diese Auswahl nicht von einem menschlichen Autor vorgenommen werden muß, sondern aufgrund von Vorgaben eines menschlichen Autors von dem Lernsystem automatisch vorgenommen werden kann. Das WWW ermöglicht es, die Grenzen des bisherigen Kursbegriffes zu sprengen. Neben den traditionellen Kursen mit vorgegebenem Kursverlauf, die durchaus ihre Berechtigung haben und auch weiterhin möglich bleiben, ermöglicht das WWW auch dynamische Kurse, deren Ablauf sich erst zur Laufzeit ergibt und sich so optimal an die individuellen Bedürfnisse des Schülers anpassen kann.

Interaktivität

Die Möglichkeit, auf Aktionen eines Schülers reagieren zu können, ist der größte Vorzug des Computers, was das Lernen angeht. Durch diese Interaktivität kann eine bessere Einbindung und Motivation des Schülers erreicht werden. Anders als bei Büchern und Lehrfilmen hat der Schüler hier wirklich die Möglichkeit, den Lernverlauf und auch den Umfang des zu vermittelnden Inhalts zu bestimmen. Die Interaktionsqualität, die sich mit einem Computer erreichen läßt, reicht zwar nicht an die Qualität heran, die sich mit einem guten Lehrer in einer individuellen Lernsituation erreichen läßt, aber im Gegensatz zu menschlichen Lehrern sind Computer in nahezu beliebiger Anzahl verfügbar. Wenn man einen bestimmten Inhalt erst einmal für die Vermittlung durch den Computer aufbereitet hat, sind die Kosten für die Durchführung der Wissensvermittlung pro Schüler praktisch vernachlässigbar, während bei einem menschlichen Lehrer mit jedem Lehrvorgang immer wieder ein beträchtlicher Aufwand anfällt. Computer-unterstütztes Lernen kombiniert die Massentauglichkeit von Büchern und anderen statischen Lernmitteln mit der Individualität von Privatlehrern. Damit bietet der Computer die Möglichkeit, hochqualitatives Lernen einem großen Nutzerkreis mit geringem Aufwand pro Schüler zugänglich zu machen. Abbildung 7 illustriert dies. Durch den Einsatz von interaktiven Elementen, wie Simulationen, ermöglicht es der Computer dem Schüler, sein neu erworbenes Wissen direkt anzuwenden

und es so durch eigene Erfahrungen zu vertiefen. Das ist deshalb von Bedeutung, weil nach Nahrstedt [35] Lernen durch eigene Erfahrung die effektivste aller Lernmethoden ist.

Client-Server Konzept

Auch die Tatsache, daß das WWW einen Client-Server-Ansatz verwendet, ist von Vorteil. Welche Vorteile sich daraus für die Bereitstellung des Lernmaterials ergeben, wurde bereits in Abschnitt „Distributierbarkeit“ auf Seite 14 dargelegt. Aber auch aus Gründen der Sicherheit ist eine Client-Server-Architektur einer Standalone-Architektur vorzuziehen, denn sie bietet die

Möglichkeit, sicherheitsrelevante Komponenten auf der Serverseite zu realisieren, wo sie dem Zugriff des Schülers entzogen sind und somit gegen Manipulationen geschützt werden können. Das in Abschnitt „8.5 Framework zur Lernerfolgskontrolle“ vorgestellte Testframework setzt diesen Gedanken um.

Die Komponenten für ein WWW-basiertes Lernsystem bzw. für die Realisierung dynamischer Inhalte können sowohl server-seitig (CGI, Servlets, ASP) als auch client-seitig (Applets, JavaScript) realisiert werden. Beide Arten der Realisierung haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile, die in Tabelle 2 zusammengestellt sind. Welche Alternative die bessere ist, läßt sich nicht global entscheiden, sondern hängt auch stark von der Komponente ab. Komponenten mit einem hohen Sicherheitsbedarf oder solche, die zentralen Charakter haben (z.B. Benutzerprofil), wird man in der Regel auf dem Server implementieren, während man Komponenten, deren Hauptaufgabe die Interaktion mit dem Benutzer ist, wann immer möglich auf dem Client implementieren sollte.

Einer der größten Vorteile bei der Verwendung eines Client-Server-Systems ist die Möglichkeit, aufwendige bzw. seltene Ressourcen (siehe auch Abschnitt „Implementierung von Lernressourcen“ auf Seite 8) auch für Anwender verfügbar zu machen, die diese nicht selbst bereitstellen können. Die Verwendung eines Client-Server-Ansatzes führt so zu einer signifikanten Verringerung der Anforderung an die Mindestausstattung eines Schülerarbeitsplatzes.

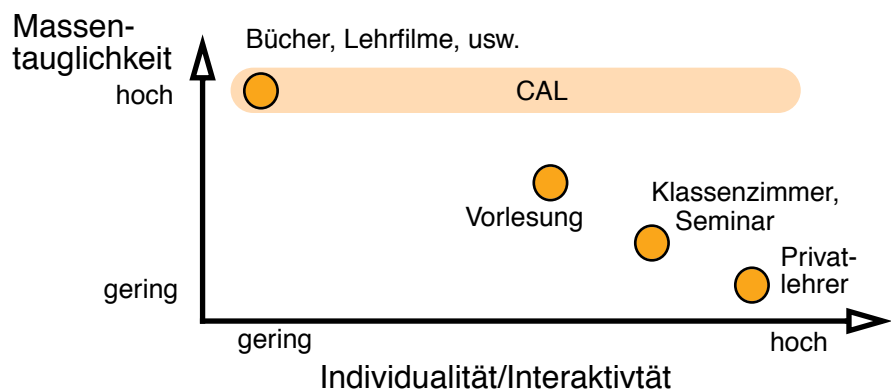


Abbildung 7. Individualität und Massentauglichkeit von Lernformen

server-seitige Realisierung	client-seitige Realisierung
► Ein hohes Maß an Sicherheit ist realisierbar.	► Es ist nur ein eingeschränktes Maß an Sicherheit realisierbar.
► Zentrale Administration ist möglich.	► Jede Installation muß lokal administriert werden.
► Schüler ist nur minimal involviert in Installation und Wartung.	► Installation und Wartung erfordert die Mitarbeit des Schülers.
► Vorhandensein ausreichend leistungsfähiger Hard- und Software kann vom Trainingsprovider gewährleistet werden.	► Große Bandbreite hinsichtlich der Hard- und Softwareausstattung der Client-Rechner muß berücksichtigt werden.
► Daten und/oder Dienste müssen nicht dupliziert werden.	► Synchronisierung mit Server (Abgleich zentraler Daten) ist notwendig.
► Verfügbarkeit des Servers muß gewährleistet sein.	► Ausfall des Netzwerks ist unproblematisch.
► Frage der Kommunikationskosten muß berücksichtigt werden.	► Kommunikationskosten fallen nicht an.
► Verzögerung durch Netzwerklaufzeiten und Bandbreitenbeschränkung	► Keine Verzögerung durch Netzwerklaufzeiten und keine Bandbreitenbeschränkung

Tabelle 2. Clientseitige versus serverseitige Realisierung von Komponenten

server-seitige Realisierung	client-seitige Realisierung
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Synchronisierung von internem Zustand mit Benutzeraktionen ist problematisch. ▶ Wegen Netzwerk komplexere Implementierung und Fehlerbehandlung notwendig (Übertragungsfehler) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Synchronisierung mit Benutzeraktionen ist leicht zu gewährleisten. ▶ geringere Komplexität der Implementierung, da keine so ausgefeilte Fehlerbehandlung nötig

Tabelle 2. Clientseitige versus serverseitige Realisierung von Komponenten

Plattformunabhängigkeit

Einer der großen Vorteile des WWW ist seine Plattformunabhängigkeit. WWW-Browser gibt es heute für alle möglichen Plattformen. Das WWW war bereits von Beginn an für den Einsatz in einer heterogenen Rechnerumgebung konzipiert. So konnten viele der Widrigkeiten, mit denen man sonst beim Arbeiten in heterogenen Rechnerumgebungen zu kämpfen hat, bereits im Design berücksichtigt und vermieden werden:

- ▶ So wurde mit den Uniform Resource Locators (URL) ein allgemeines, global eindeutiges Format für die Bezeichnung von Inhalten geschaffen, das unabhängig von den Konventionen des verwendeten Betriebssystems ist¹.
- ▶ HTML-Dateien werden als normale Textdateien mit ISO-8859-1 Zeichensatz abgespeichert und lassen sich mit einem einfachen Texteditor, den es auf jeder Plattform gibt, erstellen. Darüberhinaus unterstützt das WWW aber auch Unicode [12]. In Unicode wird jedes Zeichen als ein 32-bit Wert dargestellt, und somit lassen sich mit Unicode eindeutig alle Zeichen aus allen Sprachen der Welt darstellen.
- ▶ Damit der WWW-Browser Inhalte richtig darstellen kann, muß er wissen, um welchen Typ von Inhalt es sich handelt (normaler Text, HTML, Bilder, Audiodaten etc.). Die verschiedenen Plattformen unterscheiden sich auch darin, wie sie den Dateityp einer Datei erkennen². Wenn ein WWW-Server Inhalte an einen Client übermittelt³, übermittelt er daher nicht nur die eigentlichen Daten, sondern auch eine Angabe (Content-Type Feld), das den Datentyp beschreibt. Die Beschreibung des Datentyps beruht auf dem MIME-Standard [17].

Diese Beispiele belegen, wie bereits in der Konzeption die Plattformunabhängigkeit des WWW sichergestellt wurde. Noch wichtiger als diese konzeptionelle Plattformunabhängigkeit ist jedoch die Tatsache, daß das Potential des WWW von vielen Firmen und Organisationen erkannt wurde und sich daher mittlerweile für nahezu jede Plattform eine Firma oder Organisation gefunden hat, die für die Plattform einen WWW-Browser entwickelt oder portiert hat. Die WWW-Browser von Netscape und Microsoft sind dabei, was den Verbreitungsgrad angeht, die Marktführer und haben damit auch großen Einfluß auf den de-facto-Standard.

Auch WWW-Server und Werkzeuge zum Erstellen von WWW-Inhalten gibt es aus einer Reihe von Quellen und für viele Plattformen. Daß anders als bei traditionellen Standalone-Systemen wie z.B. Toolbook oder Authorware die Entwicklung der Software nicht in den Händen einer einzigen Institution oder Firma liegt, ist sicherlich ein entscheidender Grund für die breite Verfügbarkeit, denn so unterliegt die Entwicklung der WWW-Software nicht solchen Beschränkungen wie vorhandene Entwicklungskapazitäten oder Firmeninteressen. Es finden sich immer wieder Entwickler, die WWW-Software auch für spezielle Plattformen oder Anwendungsgebiete entwickeln.

Realisiert man eine Lernumgebung auf Basis des WWW, so hat das den Vorteil, daß Schüler von jeder Plattform auf das Lernmaterial zugreifen können, ohne daß es oder das Lernsystem speziell an die jeweilige Plattform angepaßt werden muß.

Weite Verbreitung

Das WWW hat sich mittlerweile so etabliert, daß ein WWW-Browser quasi zur Standardausstattung eines Arbeitsplatzrechners gehört. Verwendet man das WWW als Basis für eine Lernplattform, dann erschließt man sich dadurch einen riesigen, über die ganze Welt verteilten Kreis von potentiellen Nutzern. Jeder, der über einen Rechner mit Netzwerkzugang verfügt, kann potentiell auf das Lernmaterial zugreifen. Da die meisten

1. zumindest soweit dies technisch machbar ist. Gewisse konzeptionelle Unterschiede zwischen den verschiedenen Plattformen, wie z.B. die Relevanz von Groß- und Kleinschreibung, lassen sich nicht ausgleichen.

2. Unix unterscheidet auf Betriebssystemebene nicht zwischen verschiedenen Dateitypen; es gibt im Wesentlichen nur Verzeichnisse und Dateien. Windows und MacOS unterstützen dagegen Dateitypen. Sie unterscheiden sich darin, wie diese erkannt werden. Auf der Windowsplattform ergibt sich der Typ einer Datei aus der Endung des Dateinamens während beim MacOS der Dateityp in den Dateidaten (resource fork) enthalten ist.

3. Anders verhält es sich, wenn der WWW-Browser den Inhalt direkt aus dem lokalen Dateisystem liest. Da hierbei kein Server involviert ist, der den MIME-Typ angeben kann, muß der WWW-Browser in diesem Fall auf die plattformspezifischen Mechanismen zurückgreifen.

Anwender bereits einen WWW-Browser benutzen, sind sie auch bereits mit dessen Handhabung vertraut. Dies ist ein großer Vorteil, weil so keine Einweisungs- und Einarbeitungsphase nötig ist. Dazu, daß sich das WWW so rasch verbreitet hat, haben mit Sicherheit auch die folgenden Fakten beigetragen:

- ▶ Die grundlegende Software (Browser und Server) ist kostenlos erhältlich.
- ▶ Die Entwicklung der WWW-Software liegt nicht in den Händen einer einzigen Institution oder Firma. Der Benutzer kann die Software auswählen, die seinen Anforderungen und Vorlieben am meisten entspricht, und das Vorhandensein von konkurrierenden Produkten ist für die unterschiedlichen Anbieter auch ein Ansporn, ihre Produkte ständig zu verbessern.
- ▶ Für das WWW mußte keine neue spezifische Infrastruktur aufgebaut werden, sondern es setzt auf der bereits existierenden Netzwerkinfrastruktur auf.
- ▶ Abgesehen von den Netzwerkkosten ist der Zugang zum WWW für die Nutzer kostenlos.

Aber das WWW profitierte nicht nur von dem bereits existierenden Internet, sondern es wurde zu der treibenden Kraft für die Ausbreitung des Internets, da es das Internet einem größeren Anwenderkreis erschloß. Dies führte letztendlich zu dem explosionsartigen Wachstum des Internets und rückte das Internet und vor allem das WWW in das Zentrum kommerziellen Interesses, was wiederum verstärkte Entwicklungs- und Forschungsaktivitäten nach sich zog.

Aus der Sicht des Lernens liegt die Bedeutung des WWW darin, daß es für die weite Verbreitung der notwendigen Basistechnologien sorgte, die eine optimale Nutzung des Computers als Lernplattform ermöglichen.

Offenheit

Soll das WWW mit möglichst wenigen Schlagwörtern charakterisiert werden, dann ist *Offenheit* sicherlich eines davon. Das WWW wurde nicht als ein abgeschlossenes System konzipiert, sondern es wurden bewußt Möglichkeiten vorgesehen, es zu erweitern. Wie in Abschnitt „Multimedia- und Kommunikationsfunktionalitäten“ auf Seite 13 erläutert stellt das WWW die Funktionalität für die Darstellung aller elementaren Multimediaformate bereit. Es ist aber nicht beschränkt auf einen festen, unabänderlichen Satz von Datenformaten, sondern es verfügt über Erweiterungsmechanismen, mittels derer sich die Unterstützung beliebiger weiterer Formate realisieren läßt. Aber die Offenheit beschränkt sich nicht auf diesen technischen Aspekt. Wichtiger ist, daß das WWW zwar die elementaren Kommunikations- und Multimediafunktionalitäten realisiert aber ansonsten keinerlei Anwendungslogik enthält. Es bietet dem Anwender aber eine Reihe von Möglichkeiten, diese nahtlos in das WWW zu integrieren.

Die Offenheit zeigt sich auch in vielen organisatorischen Aspekten des WWW. Jeder, der über eine Netzwerkanschl. verfügt, kann das WWW nutzen, sei es als Nutzer oder als Anbieter. Abgesehen von der Vergabe der eindeutigen Netzwerkadressen gibt es keine zentralen Verwaltungsstrukturen für das WWW, bei denen sich ein Benutzer oder Betreiber registrieren muß (siehe auch Abschnitt „Dezentralität“ auf Seite 14).

Der wichtigste Aspekt der Offenheit ist jedoch, daß jedermann zu der Weiterentwicklung des WWW beitragen kann. Da eine Vielzahl von unterschiedlichen Gruppen sich an der Entwicklung beteiligen, werden auch die vielfältigsten Problemstellungen angegangen und entsprechende Lösungen entwickelt. Es kommt auch vor, daß von mehreren Gruppen unterschiedliche Lösungen für die gleiche Problemstellung entwickelt werden. Diese Lösungen müssen ihre Nützlichkeit in der Praxis beweisen, und mit der Zeit wird sich eine Lösung durchsetzen¹. Mit dem W3C (siehe Abschnitt „Offene Standards“ auf Seite 14) gibt es eine Organisation, die versucht diese technische Entwicklung zu koordinieren und zu kanalisieren. Alle wichtigen Standards für das WWW sind für jedermann frei zugänglich. Neben den offenen Standards findet man in dem WWW auch eine Vielzahl von Open-Source-Entwicklungen (wie z.B. den Apache WWW-Server und den Mozilla WWW-Browser). Hier haben die Benutzer neben dem Endprodukt auch Zugriff auf den Sourcecode des Produkts. Open Source erleichtert das Auffinden von Fehlern und auch den Technologietransfer, denn andere Entwickler werden in die Lage versetzt, das Produkt weiterzuentwickeln, es auf andere Plattformen zu portieren oder Teile davon in eigenen Entwicklungen zu verwenden.

2.5.2 Probleme des WWW

Die Akzeptanz von Seiten der Benutzer und die daraufhin einsetzende rasante Erschließung immer neuer Anwendungsgebiete belegen das enorme Potential des WWW. Diese Entwicklung ist jedoch nicht das Resultat vorausschauender Planung, sondern viele Weiterentwicklungen und neue Ansätze ergeben sich bzw. werden entwickelt als Antwort auf Probleme, die beim praktischen Einsatz auftreten. Daß man bei einem derartigen Entwicklungsprozeß bei der Erschließung von neuen Anwendungsfeldern immer wieder mit neuen

1. Die Frage, ob diese Lösung technisch gesehen wirklich die beste Lösung ist, ist dabei sicherlich ein wichtiges Kriterium, aber auch andere Kriterien, wie Verfügbarkeit oder lizenzrechtliche Fragen, spielen eine Rolle.

Problemen konfrontiert wird, für die es nachträglich eine Lösung zu finden gilt, ist nur natürlich und trifft auch auf das Anwendungsgebiet „Lernen“ zu. Im folgenden werden die generellen und auch die anwendungsspezifischen Schwachstellen des WWW beschrieben, die es zu bereinigen gilt, um das WWW mit Erfolg in dem Bereich CAL einsetzen zu können.

Flüchtigkeit der Inhalte

Die Tatsache, daß im WWW Inhalte dezentral auf einem Server abgelegt und von dort bezogen werden, ist sicherlich von unschätzbarem Vorteil für die Distributierbarkeit (siehe Abschnitt „Distributierbarkeit“ auf Seite 14). Erst dadurch wird es möglich, Inhalte automatisch zu aktualisieren und wiederzuverwenden. Allerdings verfügt das WWW über keinerlei Mechanismen, um sicherzustellen, daß Material auch langfristig verfügbar ist. Der Benutzer kann nicht davon ausgehen, daß er bei einem erneuten Zugriff denselben Inhalt erhält wie beim ersten Zugriff. Er kann nicht einmal sicher sein, daß das angeforderte Material überhaupt noch existiert. Ein Anbieter kann zwar versuchen, durch die Vorgabe einer lokalen Politik die langfristige Stabilität von Material, das seiner Kontrolle unterliegt, sicherzustellen, hat aber keine Kontrolle über fremdes Material.

Rasante Entwicklung versus Standards

Im WWW hat man es mit einer großen Anzahl von Datenformaten und damit auch mit einer Unzahl von Standards zu tun. Erschwerend kommt hinzu, daß aufgrund der rasant fortschreitenden Entwicklung laufend neue Datenformate und Standards hinzukommen bzw. die existierenden sich weiterentwickeln (z.B. HTML). Soll ein Produkt konform zu allen relevanten Standards sein, dann erfordert dies zunächst einen enormen initialen Aufwand aber auch fortwährende Anstrengungen zur Pflege und Weiterentwicklung.

Viel schwerwiegender ist jedoch das Problem, daß es oft unterschiedliche Versionen eines Standards gibt oder herstellersistenspezifische Erweiterungen. Selbst wenn eine Erweiterung oder Veränderung eines Standards eine lohnenswerte Verbesserung zur Folge hat, so bedeutet sie doch in jedem Fall immer auch einen Bruch in der Kompatibilität. In vielen Fällen verfolgen die Hersteller mit den Erweiterungen des Standards auch marketingpolitische Ziele und nehmen bewußt Inkompatibilitäten in Kauf bzw. führen sie mit Absicht herbei. Das abschreckendste Beispiel in dieser Richtung ist mit Sicherheit HTML selbst. Will man gleiches Aussehen und Verhalten von Inhalten bei der Darstellung mit allen verfügbaren Browsern (Plattform, Versionen und Hersteller) sicherstellen, dann erfordert dies oft einen beträchtlichen Aufwand von Seiten der Autoren bis hin zu der Bereitstellung von unterschiedlichen Versionen des gleichen Inhalts für die unterschiedlichen Browser.

Auch die Tatsache, daß die Entwicklung der Standards nicht immer geradlinig erfolgt, führt zu Problemen. Betrachtet man die Entwicklung von HTML, dann sieht man, daß HTML ursprünglich nur zur Beschreibung der Dokumentstruktur verwendet wurde. Das Aussehen des Inhaltes wurde nicht von dem Autor festgelegt, sondern es blieb dem Browser überlassen, wie er die einzelnen Strukturelemente darstellt. Mit der Zeit verlangten die Benutzer nach Möglichkeiten, das Aussehen beeinflussen zu können, um ihre gestalterischen Vorstellungen umsetzen zu können. Daraufhin wurde HTML um Tags erweitert, mit denen der Autor das Aussehen spezifizieren konnte. Im Verlauf der Zeit zeigte sich aber, daß diese Lösung beträchtliche Nachteile mit sich bringt, wenn es darum geht, ein einheitliches Aussehen für mehr als ein Dokument sicherzustellen oder es dem Benutzer zu erlauben, das vorgegebene Aussehen auf seine speziellen Bedürfnisse anzupassen. Daher wurden die „Cascading Style Sheets“ eingeführt, mit denen den Strukturelementen ein spezifisches Aussehen zugeordnet werden kann. Damit kann ein Autor seine Gestaltungswünsche realisieren, aber da die Beschreibung auf allgemeiner Ebene erfolgt, wird die konzeptionelle Trennung zwischen Struktur und Aussehen wiederhergestellt. Auch kann der Endbenutzer durch die Verwendung alternativer style sheets die Darstellung seinen besonderen Bedürfnissen anpassen. Schließlich hat sich auch herausgestellt, daß die fixe Strukturierung, wie sie in HTML konzeptuell vorgesehen ist (fest vorgegebener Satz von HTML-Tags) nicht ausreichend flexibel ist und daß es von Vorteil wäre, wenn ein Autor anwendungsspezifische Tags definieren könnte, die die spezielle Semantik eines Dokuments besser wiedergeben können. Diese Erkenntnis führte zur Entwicklung von XML [48] als designierter Nachfolgesprache von HTML. Dieses Beispiel zeigt sehr gut wie sich im Verlauf von relativ kurzer Zeit ein Standard weiterentwickelt und daß dies auch über Umwege erfolgen kann. Neben dem Problem, mit dem aktuellen Stand des Standards auf dem laufenden zu bleiben, stellt sich auch das Problem der alten Inhalte. Abgesehen davon, daß man allein vom Aufwand her, der notwendig wäre, nicht in der Lage ist, bei jeder neuen Version eines Standards alle alten Inhalte dem neuen Standard anzupassen, muß man auch deshalb kompatibel zu den alten Versionen bleiben, weil nicht jeder auch auf den neuen Standard umsteigen wird und man denen, die noch nicht umgestiegen sind, zumindestens die Weiternutzung der alten Inhalte ermöglichen will. Die Forderung nach Abwärtskompatibilität steht aber oft im Gegensatz zu den Zielen der neuen Version oder führt zu einer beträchtlichen Komplizierung der neuen Lösung.

Technologie-orientiertes Abstraktionsniveau

Betrachtet man HTTP und HTML, dann stellt man fest, daß sie von den Konzepten her relativ einfach gehalten sind. Wegen dieser Einfachheit können HTML und insbesondere HTTP relativ leicht implementiert werden, was sicherlich zum Erfolg des WWW beigetragen hat. Die Kehrseite dieser Einfachheit ist aber das niedrige Abstraktionsniveau, das sich in erster Linie an technischen Aspekten orientiert.

Bei HTTP ergibt sich die Antwort auf eine Anfrage allein aus dem Inhalt der Anfrage und ist unabhängig von anderen Anfragen (Zustandslosigkeit). Daher kann jede Anfrage auch für sich allein bearbeitet werden, und es bedarf keiner wie auch immer gearteten Verwaltung von Anfragen. Auch wurde bei HTTP darauf verzichtet, Mechanismen zur Behandlung von Netzwerkproblemen bereitzustellen. HTTP stellt weder sicher, daß eine Anfrage den Server erreicht, noch stellt es sicher, daß der Client eine Antwort auf seine Anfrage erhält. Auch in dem Fall, daß die Anfrage erfolgreich verläuft, gibt es keinen Mechanismus, um zu garantieren, daß die Antwort auch innerhalb einer bestimmten Zeitspanne erfolgt. Ein derartiger Mechanismus wäre äußerst hilfreich, wenn es darum geht, den Darstellungsfluß sicherzustellen, d.h. zu vermeiden, daß es zu längeren Verzögerungen kommt, weil Teile des verwendeten Materials erst geladen werden müssen. Gewisse Verzögerungen bei dem Aufbau der Darstellung sind unvermeidbar, aber sie dürfen kein Ausmaß annehmen, das den Benutzer in seiner Konzentration stört. Während ein Schüler oder generell ein Benutzer mit dem Material arbeitet (interagiert), sollte innerhalb eines Zeitraums von maximal circa 15 Sekunden eine Reaktion auf die Aktionen des Benutzers erfolgen, um den Eindruck zu vermeiden, daß das System nicht reagiert. Beinhaltet eine Reaktion einen HTTP-Request, dann kann diese Grenze nicht garantiert werden.

HTML verfügt über keinerlei Möglichkeiten, einzelne Seiten zu größeren logischen Einheiten zusammenzufassen, z.B. zu Kapiteln oder Büchern. Beim Lernen spielen HTML-Seiten sicherlich eine Rolle bei der Strukturierung, aber im Gegensatz zu HTML gibt es weitere übergeordnete Strukturen wie Lerneinheiten und Kurse, die einzelne Seiten organisieren, so daß durch die Anordnung der einzelnen Seiten bestimmte Lernfunktionen (wie Präsentation von neuen Inhalten, Exploration von Inhalten oder Lernerfolgskontrolle) realisiert werden. Solche übergeordneten Strukturen sind in HTML nicht vorgesehen. In diesem Zusammenhang ist es auch von Interesse, daß in einer Lernumgebung die Auswahl von Lernmaterial abhängig ist von den vorherigen Aktionen des Schülers. Das steht im Gegensatz zu der Zustandslosigkeit von HTTP. Es müssen deshalb Mittel und Wege gefunden werden, wie die Vorgeschichte eines Schülers den Verlauf eines Kurses beeinflussen kann. Das bedeutet aber, daß anders als bei einem WWW-Server nicht jede Anfrage für sich betrachtet werden kann, vielmehr bedarf es einer Steuerungskomponente, die alle zusammengehörigen Anfragen behandelt. Ein anderer Aspekt davon ist, daß der Server nicht nur auf Anfrage Material bereitstellen muß, sondern es bedarf zusätzlicher Logik, die die Aktionen des Benutzers auswertet und bei der Materialauswahl berücksichtigt. Das führt aber dazu, daß es neben dem Datenfluß vom Server zum Client (Materialanforderungen) auch einen solchen vom Client zurück zum Server geben muß (Information über Benutzeraktionen).

Diese Ausrichtung an technischen Gegebenheiten zeigt sich auch in der Struktur einer HTML-Seite. HTML-Seiten haben einen modularen Aufbau, d.h. die in einer Seite enthaltenen Multimediaelemente sind nicht in die Seitenbeschreibung integriert, sondern werden als eigenständige Module abgelegt und lediglich über Verweise angesprochen. Allerdings wird diese konzeptuelle Trennung zwischen Struktur und Inhalt nicht konsequent durchgehalten. Textuelle Inhalte sind Bestandteil der HTML-Seite und können nicht als separate Module abgelegt werden¹. In HTML ist es generell ein Problem, mehrere Elemente, die logisch gesehen eine Einheit bilden, auch als eine Einheit abzulegen. Ablageeinheiten in HTML sind entweder einzelne Multimediaelemente oder ganze HTML-Seiten. Für den Autor einer Lernanwendung ist der Datentyp eines Lernmaterials zwar nicht unbedeutend, aber von größerer Bedeutung ist für ihn, welche logische Funktion dieses Lernmaterial realisiert. Ob dieses Lernmaterial intern aus einem einzigen elementaren Multimediaelement besteht oder aus mehreren dieser elementaren Bestandteile zusammengesetzt ist, ist für den Autor dagegen nur von untergeordneter Bedeutung.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Abstraktionsebene des WWW nicht mit der Abstraktionsebene der Autoren übereinstimmt. Es muß daher eine geeignete Abbildung gesucht werden, die es erlaubt, die Elemente aus der Begriffswelt eines Autors auf die entsprechenden HTML-Elemente umzusetzen. Dabei ist von besonderem Interesse wie sich die übergeordneten Kursstrukturen im WWW realisieren lassen.

Generelle Sicherheitsprobleme

Wie immer, wenn mit dem Computer Daten verarbeitet werden erhebt sich die Frage der Sicherheit. Nur berechtigte Benutzer sollen Zugriff auf die Daten haben. Genau wie bei normalen Anwendungen bedarf es im

1. Technisch gesehen gibt es zwar die Möglichkeit, formatierten Text als ein JavaScript-Fragment in eine separate Datei auszulagern. Dies entspricht jedoch nicht der Natur des Lernmaterials, und es ist auch mit einer Einschränkung der Formatierungsmöglichkeiten verbunden.

WWW Mechanismen zur Zugriffskontrolle und verbunden damit zur Benutzerauthentisierung. Im WWW findet die Bearbeitung der Daten jedoch nicht mehr lokal auf dem Computer statt. Vielmehr werden die Daten, darunter auch sensitive, über öffentliche Leitungen übertragen. Damit ergeben sich neue Anforderungen an die Sicherheit:

- ▶ In der Theorie sollte über entsprechende Sicherheitsmechanismen gewährleistet sein, daß Unbefugte nicht auf interne Anwendungsdaten zugreifen können. Allerdings funktioniert das nur dann, wenn die Sicherheitsmechanismen keine Schwachstellen – sowohl konzeptuell als auch umsetzungsmäßig – enthalten und diese Mechanismen auch ordnungsgemäß angewendet werden. Das Fatale bei der Sicherheit ist, daß das Vorhandensein einer einzigen Schwachstelle die gesamte Sicherheit zunichte macht. Eine der besten Methoden, die Sicherheit eines Systems zu gewährleisten, ist es, den Zugang zum System so zu limitieren, daß Unbefugte überhaupt keine Verbindung mit dem System aufnehmen können. Sobald ein System aber im WWW verfügbar ist, ist es weltweit erreichbar und verwundbar für Angriffe.
- ▶ Angreifer können die Daten abfangen und den Inhalt ausspähen oder die Inhalte auch verändern. Besonders gefährlich ist es, wenn Unbefugte auf diese Art Benutzeridentifikationen und Passwörter für rechtmäßige Anwender ausspähen können und sich dann als rechtmäßige Benutzer ausgeben können.
- ▶ Aber auch, wenn es gelänge, unberechtigte Zugriffe auf Computer oder Übertragungen auszuschließen, so kann allein die Information, daß zwei Parteien Daten austauschen, oder der Umfang des Datenverkehrs zwischen diesen Partnern, Außenstehenden wertvolle Einsichten vermitteln.
- ▶ Spielt das WWW eine zentrale Rolle in den Geschäfts- und/oder Arbeitsprozessen einer Institution, dann ist ein Ausfall der WWW-Server über einen längeren Zeitraum mit beträchtlichen finanziellen Einbußen verbunden. Es muß daher Vorsorge getroffen werden gegen technisch bedingte Ausfälle. Genauso muß man sich aber vor Angriffen schützen, die die Verfügbarkeit der Server bedrohen, z.B. gegen Denial-of-Service Angriffe¹.

Diese Probleme bestehen seit dem Aufkommen des Internets. Bedingt durch die zunehmende Verbreitung des WWW hat die Bedeutung dieser Probleme stark zugenommen. Für den kommerziellen Einsatz des WWW ist die Lösung dieser Probleme von essentieller Bedeutung, und es wird auch an entsprechenden Lösungen gearbeitet (Kryptographische Verfahren, PKI, Firewalls usw.). Derartige allgemeine Sicherheitsprobleme sind nicht das Thema dieser Arbeit. Allerdings werden in Kapitel 7 „Sicherheitsmaßnahmen“ die Aspekte vorgestellt, die auch für den Bereich Computer-unterstütztes Lernen von Belang sind.

2.6 Lernspezifische Sicherheitsaspekte

Neben den allgemeinen Sicherheitsaspekten gibt es auch eine Reihe von sicherheitsrelevanten Problemen, die spezifisch für das Anwendungsgebiet „Lernen“ sind.

2.6.1 Benutzerauthentisierung

Ein Problem ist die Benutzerauthentisierung. Mit ihr soll sichergestellt werden, daß nur berechtigte Personen Zugang zu bestimmten Inhalten erhalten. Die Benutzerauthentisierung bildet auch die Grundlage für jede Art von Lernkontrolle und somit auch für jede Art von Bewertung. Da Bewertungen und Abschlüsse aber wichtig für die persönliche Karriere des Schülers sind, kann man in einem Lernszenario im Gegensatz zu einem normalen Anwendungsszenario nicht davon ausgehen, daß man dem rechtmäßigen Benutzer trauen kann und nur gegen Angriffe von Seiten Dritter Vorsorge treffen muß. Stattdessen muß man davon ausgehen, daß ein Schüler versucht sein wird, sich durch Manipulation z.B. der Benutzerauthentisierung sein Prüfungsergebnis unrechtmäßig zu verbessern. Der² einzige absolut sichere Weg, solche Manipulationen auszuschließen, ist, wenn der Lernanbieter sicherstellen kann, daß er die vollkommene administrative Kontrolle über die Lernumgebung hat. Dies ist einmal aufgrund des dafür benötigten Aufwands nicht praktikabel und steht auch im Gegensatz zu der Grundidee beim WWW-basierten Lernen (orts- und zeitunabhängiges Lernen). Daher muß man je nach den jeweiligen Gegebenheiten und Anforderungen Möglichkeiten finden, das Lernen hinreichend sicher zu gestalten. In Kapitel 7 „Sicherheitsmaßnahmen“ werden entsprechende Ansätze vorgestellt.

2.6.2 Vertraulichkeit

Für eine Lernumgebung sind mehrere Aspekte von Vertraulichkeit von Relevanz.

Eine Optimierung des Lernvorgangs läßt sich dadurch erreichen, daß die Wissensvermittlung unter Berücksichtigung der individuellen Anforderungen, des Vorwissens und der Vorlieben eines Schülers erfolgt. Dazu

1. Bei dieser Art von Angriff wird versucht, das System so mit zulässigen Anfragen zu überhäufen, daß es auf Grund der Überlastung die Anfragen der richtigen Benutzer nicht mehr oder nicht mehr schnell genug bearbeiten kann. Aus der Sicht der Anwender ist das Verhalten des Systems dann identisch zu dem Ausfall des Systems.

2. Ein Schüler könnte z.B. eine andere Person unter seiner Kennung den Kurs bearbeiten lassen.

müssen die Aktionen eines Schülers mitprotokolliert, ausgewertet und seinem Benutzerprofil hinzugefügt werden. Kann ein Schüler sicher sein, daß die gesammelten Daten nur für Lernzwecke gebraucht werden, so wird er keine Einwände gegen das Sammeln dieser Daten erheben. Allerdings wird er, zu Recht, sicherge stellt haben wollen, daß seine persönlichen Daten nicht für andere Zwecke genutzt oder anderen Personen als den Lehrern/Tutoren zugänglich sind. Für das Sammeln persönlicher Daten gibt es gesetzliche Vorgaben und Regelungen (Datenschutz), die ein Trainingsprovider einhalten muß. Ein Problem bei WWW-basiertem Lernen ist jedoch, daß für unterschiedliche Länder unterschiedliche gesetzliche Vorgaben gelten, WWW-basiertes Lernen aber länderübergreifend stattfinden kann. So stellt sich die Frage, welche Gesetze anwendbar sind und wie die Einhaltung dieser Gesetze überwacht und sichergestellt werden kann.

WWW-basiertes Lernen beinhaltet den Austausch von Daten zwischen Schüler und Trainingsprovider, zumeist über ein öffentliches Netz. Ein Aspekt von Vertraulichkeit ist auch, daß Unbefugte den Inhalt der ausgetauschten Daten nicht ausspähen können.

Man könnte annehmen, daß sich beim Lernen die Frage nach der Vertraulichkeit der Inhalte nicht stellen sollte, da diese dem Schüler präsentiert werden müssen, damit er überhaupt lernen kann. Aber es gibt durchaus den Fall, daß bestimmte Inhalte vertraulich sind. So z.B., wenn Firmen ein WWW-basiertes Lernsystem für die interne Schulung ihrer Mitarbeiter einsetzen und dabei Themen wie interne Abläufe oder neue Geschäftsstrategien vermittelt werden sollen.

Eine wichtige Technik, mit der sich die Vertraulichkeit von Daten gewährleisten läßt, ist die Verschlüsselung. Allerdings reicht es nicht aus, nur dafür Sorge zu tragen, daß nur berechtigte Benutzer Zugriff auf vertrauliche Inhalte erhalten. Man muß auch sicherstellen, daß vertrauliche Inhalte nicht von berechtigten Benutzern an unberechtigte Dritte weitergegeben werden können. In Abschnitt „7.2 Umsetzungskonzept einer sicheren Lernumgebung“ auf Seite 122 wird ein Konzept vorgestellt, das durch eine obligatorische Verschlüsselung die Vertraulichkeit der Daten gewährleistet.

2.6.3 Urhebererschaft

Die digitale Natur des Lernmaterials, aus welcher viele der Vorteile von Computer-unterstütztem Lernen resultieren, ist gleichzeitig auch eine der größten Schwachstellen. Betrachtet man die Erstellung von Lernmaterial und weiß, daß man für die Erstellung einer Stunde (qualitativ guten) Lernmaterials von der Konzeption bis zu der Fertigstellung schätzungsweise um die 100-1000 Stunden Arbeit investieren muß, dann erkennt man leicht, daß das eigentliche Kapital eines Schulungsanbieters sein Kursmaterial ist. Insbesondere in einem kommerziellen Umfeld bedarf dieses Kapital auch des Schutzes. Die größte Gefahr droht von Seiten der Schüler, aber auch andere Trainingsprovider, die das Lernmaterial unberechtigt verwenden, stellen eine ernsthafte Bedrohung dar.

Die Erstellung von Lernmaterial stellt mit Sicherheit eine eigenständige geistige Leistung dar und unterliegt somit dem Urheberrecht. Dieses regelt den Erwerb, die Weitergabe und den Mißbrauch von geistigem Eigentum. Das Problem sind daher auch nicht ungeklärte juristische Fragen, sondern es ist die Tatsache, daß aufgrund der technischen Entwicklung heute jedermann ohne nennenswerten Aufwand in der Lage ist, illegale Kopien in unbegrenztem Umfang und ohne Qualitätsverluste anzufertigen. Dadurch nimmt die Gefahr durch Urheberrechtsverletzungen ganz neue Dimensionen an. Dieses Problem hat man mit jeder Art von digitalen Medien. Besonders akut ist dieses Problem auch im Bereich der Musikindustrie (MP3, Napster usw.). Aber die Wahrung des Urheberrechts ist nicht nur im kommerziellen Umfeld von Bedeutung. Auch Institutionen, die Lernmaterial kostenlos bereitstellen (Universitäten oder Firmen im Rahmen des technischen Supports für die Benutzer), werden sicherstellen wollen, daß von ihnen erstelltes Lernmaterial nur entsprechend ihren Vorstellungen eingesetzt wird.

Ein altes Sprichwort besagt „Recht haben und Recht bekommen sind zweierlei“, und dies trifft auch auf digitale Medien und somit auch auf digitales Lernmaterial zu. Was nützt dem rechtmäßigen Eigentümer sein Urheberrecht, wenn er es nicht belegen kann, falls es zu Urheberrechtsstreitigkeiten kommt. Daher sind Verfahren, mit denen sich der Urheberrechtsinhaber feststellen lassen kann, von besonderem Interesse. Urheberrechtsangaben, die als zusätzliche Information den eigentlichen Nutzdaten hinzugefügt werden, sind bei digitalem Material keine Lösung, da sie durch entsprechende Nachbearbeitung entfernt werden können. Eine Lösung hierfür sind digitale Wasserzeichen. Auf diese wird im Abschnitt „7.2.2 Ein automatisiertes Verfahren für die Verfolgung unbefugter Nutzung urheberrechtlich geschützten Materials“ eingegangen. In diesem Kapitel wird auch erläutert werden, wie sich durch eine Kombination von Wasserzeichen und Verschlüsselung die unbefugte Weitergabe von Lernmaterial verhindern oder aber zumindest bis zum letzten rechtmäßigen Nutzer zurückverfolgen läßt.

2.7 Zusammenfassung

Im Bereich Lernen zeichnen sich ausgelöst durch die jüngsten Entwicklungen im Bereich Multimedia und Telekommunikation große Umwälzungen ab. Der rasante technische Fortschritt stellt neue Anforderungen, eröffnet aber gleichzeitig auch neue Möglichkeiten. So lassen sich mit dem Computer neue Lernformen, die die Herausforderungen der Zukunft lösen, realisieren. Dabei wird das WWW immer mehr die allgemein anerkannte Basistechnologie für die Realisierung von Lernumgebungen. Bei einer Abwägung der Vorteile und Nachteile, die die Verwendung des WWW mit sich bringt, kommt man unweigerlich zu dem Schluß, daß das WWW eine optimale Plattform bietet. Jedoch wurde das WWW als ein Informationssystem konzipiert, und ihm fehlen einige Funktionalitäten, die für das Lernen notwendig sind. Es stellen sich daher die Fragen: Welche Funktionalitäten, die das WWW nicht bietet, werden für das Lernen benötigt und wie lassen sich die fehlenden Funktionalitäten nachrüsten?

Die primäre Fragestellung dieser Arbeit lautet nicht, wie Lernmaterial gestaltet werden muß, damit einem Schüler Wissen möglichst erfolgreich vermittelt werden kann. Sondern es geht darum, welche Konzepte, Mechanismen und Werkzeuge es bedarf, damit Lernmaterial effektiv genutzt werden kann. Das sind zunächst einmal unterschiedliche Fragestellungen, obwohl es zwischen beiden durchaus auch einen Zusammenhang gibt. Diese Arbeit geht darauf ein, in welcher Form und nach welchem Aggregationskonzept die Expertise der Ausbilder codiert, gespeichert und verteilt werden kann, wie eine Lernplattform mit diesem Material umgehen kann, wie Lernmaterial instanz- und typenmäßig vielfach genutzt werden kann, wie mit der Lernplattform der Lernprozeß umgesetzt werden kann, und sie befaßt sich auch mit einigen der dabei auftretenden Sicherheitsproblemen.

3.1 Bedürfnisse und Anforderungen

Beim Lernen spielen Lernressourcen eine zentrale Rolle.

Definition 5: *Lernmaterial sind jede Art von Ressourcen¹, die von einem Lernsystem dazu verwendet werden können, einem Schüler bestimmtes Wissen oder bestimmte Fähigkeiten zu vermitteln. Ihre Nutzung in einem Lernsystem setzt voraus, daß die Ressource durch zugehörige Metadaten erschlossen wurde.*

Definition 6: *Ein Trainingsprovider ist eine Institution, die eine Lernumgebung gemäß Definition 1 betreibt.*

Lernen kann daher gesehen werden als die Nutzung von Lernmaterial. Um den Prozeß der Wissensvermittlung effektiv gestalten zu können, ist es daher wichtig zu wissen, welche Anforderungen und Bedürfnisse an Lernressourcen gestellt werden.

3.1.1 Transport, Export und Import

Die Bereitstellung von Lernmaterial beinhaltet auch die Auslieferung des Lernmaterials an einen Schüler. Ist im voraus bekannt, auf welches Lernmaterial ein Schüler im Verlauf eines Kurses zugreifen wird, kann dieses zusammengestellt und vor Beginn des Kurses an den Schüler übermittelt werden. Diese Art der Materialauslieferung wird im folgenden als *Offline-Distribution* bezeichnet. Die Vorteile bei dieser Art der Distribution sind, daß zur Kurslaufzeit das Vorhandensein des Lernmaterials garantiert werden kann. Da die Übermittlung der Daten von dem Lernen entkoppelt ist, sind Übertragungszeiten und Netzwerkkapazitäten keine kritische Größen. Es ist – abgesehen von dem Kostenaspekt – nicht von Belang, ob die Übermittlung der Daten 5 Minuten oder 5 Stunden in Anspruch nimmt. Wenn es Vorteile bringt, kann man auch anstelle der Netzwerkübertragung auf alternative Übertragungswege zurückgreifen, z.B. Versand des Lernmaterials auf CD-ROM, wenn es gilt, große Datenmengen (z.B. hoch-qualitative Videodaten) möglichst kostengünstig zu übertragen und die Dauer der Auslieferung keine Rolle spielt. Die Offline-Distribution ist auch die einzige Möglichkeit, um einen Schüler, der über keinen Zugang zum Netzwerk verfügt, mit Lernmaterial zu versorgen.

Erlaubt man, daß Kurse sich an den Schüler anpassen, dann erhält man Kurse mit dynamischem Kursverlauf, d.h. es wird erst zur Laufzeit anhand der aktuellen Information entschieden, welches Lernmaterial dem Schüler präsentiert wird. Da sich dann aber nicht mehr vorhersagen läßt, welches Lernmaterial in einem Kurs eingesetzt werden wird, ist es schwieriger zu entscheiden, welches Lernmaterial vorsorglich bereitgestellt werden soll. Wenn die Lernmaterialauswahl dynamisch erfolgt, dann kann prinzipiell auch Lernmaterial berücksichtigt werden, das erst nach der Kursentwicklung verfügbar wurde. Dafür muß man aber von der Offline-Distribution zu der *Online-Distribution* übergehen. Bei dieser wird das Lernmaterial erst bei Bedarf über das Netzwerk von seinem Ablageort geladen. Da alles Lernmaterial bei Bedarf angefordert wird, entfällt die Notwendigkeit, bei dem Schüler Lernmaterial lokal vorzuhalten. Stattdessen muß er nur über soviel Speicherplatz verfügen, wie für das aktuell verwendete Material notwendig ist. Weil der Schüler immer auf die originale Version des Lernmaterials zugreift, kann er auch sicher sein, daß er immer mit der aktuellsten Version des Lernmaterials arbeitet. Anders ist es bei der Offline-Distribution: Wenn sich hier Lernmaterial verändert, muß die veränderte Version erst erneut an den Nutzer ausgeliefert werden. Ein weiterer Vorteil der Online-Distribution ist, daß sie mehr Möglichkeiten bietet betreffend der Realisierung dynamischer Inhalte. Dynamische Inhalte, die von aktuellen externen Daten wie z.B. dem aktuellen Wert des Börsenindex abhängen, können

1. Diese Definition ist bewußt offen gehalten. So kann auch ein menschlicher Lehrer, ein Buch oder eine Vorlesung eine Ressource sein.

prinzipiell nicht im Voraus ausgeliefert werden. Tabelle 3 stellt die Vor- und Nachteile der beiden Distributionsarten gegenüber.

Offline-Distribution	Online-Distribution
<ul style="list-style-type: none"> ▶ garantierte Verfügbarkeit des Materials ▶ Netzwerk wird nur für die Übertragung des Materials benötigt aber nicht beim Lernen. ▶ Keine Verzögerungen aufgrund von Netzlaufzeiten, daher Bereitstellung großer Datenmengen für hochqualitatives Material unproblematisch ▶ Bessere Möglichkeiten, die Übertragungskosten zu minimieren ▶ alternative Übertragungsmedien möglich ▶ Material muß nur ein einziges Mal übertragen werden. ▶ Aktualisierung von Material nur auf Veranlassung der Nutzer ▶ hoher lokaler Speicherplatzbedarf, da gesamtes Material vorgehalten werden muß ▶ Einschränkungen bei der Realisierung dynamischer Inhalte ▶ Kein Zugriff auf externe Ressourcen ▶ Die dynamische Auswahl von Lernmaterial ist beschränkt auf das ausgelieferte Lernmaterial. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Verfügbarkeit des Material nicht gewährleistet, wegen möglicher Probleme bei der Übertragung ▶ Netzwerkverbindung immer notwendig ▶ Übertragungszeiten sind kritisch ▶ Übertragungskosten von Bedeutung außer innerhalb lokaler Netze ▶ Übertragung immer über Netzwerk ▶ Jeder Zugriff auf das Material erfordert erneutes Übertragen^a. ▶ Aktualität des Materials implizit gewährleistet ▶ geringer Speicherplatzbedarf, da nur aktuell verwendetes Material vorgehalten werden muß ▶ komplexere dynamische Inhalte realisierbar ▶ Zugriff auf externe Ressourcen möglich, z.B. zentrale Dienste ▶ Bei dynamischer Auswahl von Lernmaterial kann das gesamte aktuell vorhandene Angebot berücksichtigt werden.

Tabelle 3. Vergleich Offline- und Onlinedistribution

a. Durch den Einsatz eines Caches läßt sich die Anzahl der Übertragungen reduzieren.

In einer idealen Umgebung, in der das Netzwerk immer verfügbar wäre, die Übertragungskapazitäten ausreichend hoch und die Kommunikationskosten vernachlässigbar wären, würde man immer von der Online-Distribution Gebrauch machen, da die zusätzlichen Möglichkeiten, die sie bietet, die zusätzlichen Übertragungen leicht aufwiegen.

Neben der Verfügbarmachung für den Schüler gibt es auch die Anforderung, Lernmaterial an andere Trainingsprovider weitergeben zu können. Hierzu muß es Mechanismen geben, Lernmaterial aus einem Lernsystem zu exportieren und es zu importieren. Heute spricht man in diesem Zusammenhang auch von *Content Packaging*.

Eine wichtige Voraussetzung für den Export und Import von Lernmaterial ist die Existenz eines standardisierten Transportformats. Schon 1995 wurden vom AICC (siehe Abschnitt 3.3.1) hierzu Richtlinien erarbeitet [40] [41]. In diesen Richtlinien wird gefordert:

- ▶ Export aller grundlegenden Elemente in individuelle Dateien in Standardformaten
- ▶ Import aller grundlegenden Elemente aus individuellen Dateien in Standardformaten
- ▶ Export der Kurslogik in textueller Form (ASCII)
- ▶ Import der Kurslogik von textueller Form (ASCII)

Die Richtlinie empfiehlt auch Standardformate für Text, Bilder, Bewegtbilder, Audio und Beschreibung von Kurslogik. Ein neueres Austauschformat, das auch Unterstützung für Metadaten bietet, wird in Abschnitt 3.3.3 vorgestellt.

Neben den technischen Aspekten (Austauschformate usw.) sind bei der Weitergabe von Lernmaterial auch Sicherheitsaspekte von Bedeutung. Insbesondere in einem kommerziellen Umfeld stellen sich Fragen wie Schutz vor unrechtmäßiger Weitergabe, Wahrung des Urheberrechts und Überwachung von Nutzungsvereinbarungen. Auf diese Fragen wird in Kapitel 6 und Kapitel 7 näher eingegangen.

3.1.2 Interoperabilität

Wenn es nur darum geht, einem Schüler einmalig einen bestimmten Inhalt zu vermitteln, dann ist der Aspekt Interoperabilität von Lernmaterial eher von untergeordneter Bedeutung. Ganz anders verhält es sich jedoch, wenn Computer-unterstütztes Lernen in großem Maßstab realisiert werden soll. Hier liegt es im Interesse aller Beteiligten, daß Lernmaterial in unterschiedlichen Lernsystemen verwendbar ist:

- ▶ Dem Hersteller von Lernsystemen ist daran gelegen, daß für sein Lernsystem möglichst viel Lernmaterial verfügbar ist und möglichst viele Lerner erreicht werden.
- ▶ Dem Hersteller von Lernmaterial ist daran gelegen, daß sein Lernmaterial auf möglichst vielen Lernsystemen einsetzbar ist und damit viele Lerner erreicht, die es verwenden.
- ▶ Dem Anwender ist daran gelegen, möglichst viel Lernmaterial zur Verfügung zu haben und dieses möglichst bruchfrei verwenden zu können. D.h., wenn Lernmaterial von unterschiedlichen Quellen bezogen wird, dann soll das nicht zur Folge haben, daß er unterschiedliche Lernsysteme verwenden muß. Seine Mindestanforderung ist, das er alles Lernmaterial mit einem Lernsystem bearbeiten kann. Im Idealfall soll es auch möglich sein, Lernmaterial von unterschiedlichen Anbietern zu kombinieren.
- ▶ Eine Firma oder sonstige Institution wird nur dann in den Aufbau einer Infrastruktur für Computer-unterstütztes Lernen investieren, wenn sichergestellt ist, daß bei einer Umstellung auf eine neuere Version des Lernsystems oder ein anderes Lernsystem existierendes Lernmaterial weiterverwendet werden kann. Das impliziert, daß auch die Metadaten, sowohl die das Lernmaterial betreffenden als auch die für die Benutzer, übernommen werden können. Eine Institution will vermeiden, sich an einen Anbieter von Lernsystemen oder Lernmaterial zu binden.

3.1.3 Wiederverwendbarkeit

Der Aspekt Wiederverwendbarkeit hat einen großen Einfluß darauf, wie die Wissensvermittlung durchgeführt werden kann und auf die Kosten, die damit verbunden sind. Die Möglichkeit der Wiederverwendung ist immer verbunden mit einer Kostenersparnis, aber es gibt auch weitere Aspekte, die von Bedeutung sind.

Wiederverwendung von Lernmaterial

Die elementarste Form der Wiederverwendung von Lernmaterial ist seine Vielfachverwendung:

- ▶ Digitales Lernmaterial ist beliebig vervielfältigbar und kann daher von einer großen Anzahl von Nutzern wiederverwendet werden. Anders als bei menschlichen Ressourcen gibt es daher keine Beschränkung in der Anzahl der verfügbaren Ressourcen. Das gilt zwar prinzipiell auch für physikalische Ressourcen, z.B. Bücher, aber bei digitalem Lernmaterial ist der Aufwand, der dafür notwendig ist, um Größenordnungen kleiner.
- ▶ Es ist unökonomisch, einen Bestandteil, der in identischer Form in mehreren Kursen vorkommt, jedesmal als neues Lernmaterial zu realisieren. Wünschenswert ist es, Lernmaterial, das eine bestimmte Funktion realisiert, nur ein einziges Mal erstellen zu müssen und dieses Lernmaterial dann in unterschiedlichen Kontexten verwenden zu können. Diese Möglichkeit der Wiederverwendung verringert zwar nicht den Aufwand, der zur Erstellung eines bestimmten Lernmaterials erforderlich ist, aber sie führt, über alle Kurse gesehen, zu einer Reduktion der Gesamtkosten. Dies setzt jedoch voraus, daß sich einzelne Funktionen sauber kapseln und auch individuell ansprechen lassen.
Das Ausmaß der Ersparnis hängt direkt davon ab, wieviel Lernmaterial wiederverwendet werden kann und nicht selbst erstellt werden muß. Daher ist die Schaffung eines gemeinsamen Pools von Lernmaterial von enormer Bedeutung.
- ▶ Durch die Verwendung von Lernmaterial von anderen Autoren oder Anbietern kann ein Anbieter auch Themenbereiche abdecken, für die er selbst über keine Expertise verfügt. Dabei ist dann auch die Wahrung des Urheberrechts und die Überwachung von Nutzungsvereinbarungen zu beachten.

Wichtige Voraussetzung für die Wiederverwendbarkeit ist die Möglichkeit, inhaltliche und funktionelle Aspekte sauber kapseln und individuell ansprechen zu können. Dies muß sowohl im Aggregationsmodell als auch bei der Wahl der Ablageformate für Lernmaterial berücksichtigt werden.

Damit ein Autor/Lehrer entscheiden kann, ob er existierendes Lernmaterial in einer bestimmten Situation einsetzen kann, muß er sich ein Bild von dem Lernmaterial machen können, das dafür in Frage kommt. Da Metadaten (siehe Abschnitt 2.2.3) die Funktion von Lernmaterial beschreiben, kann ein Autor/Lehrer mit ihnen ermitteln, welches Lernmaterial für seinen Verwendungszweck in Frage kommt. Allerdings beschreiben Metadaten nicht im Detail, wie Lernmaterial die Funktion realisiert. Gerade Letzteres ist jedoch wichtig für die Bewertung der Eignung durch einen Autor/Lehrer. Was er benötigt, ist eine gute Dokumentation, die ihm Einblick gibt in die Absicht und das Umsetzungskonzept, die hinter dem Lernmaterial stehen.

Wiederverwendung von Design Patterns

Wichtiger noch als die Wiederverwendung konkreter Lernmaterialien selbst ist die Wiederverwendung ihrer Entwurfsmuster (Design Pattern) (siehe auch [77] und [84]). Das haben auch die Erfahrungen aus den Projekten DEDICATED und IDEALS bestätigt. So findet man in Lernmaterial unabhängig vom jeweiligen Thema immer wieder die gleichen pädagogischen und didaktischen Vorgehensweisen. Gleiches gilt auch für andere Aspekte von Lernmaterial, z.B. Layout, Interaktion und Lernerfolgskontrolle. Die Erstellung von neuem Lernmaterial erfolgt daher oft im sogenannten *Cut and Paste* Verfahren, d.h. der Autor erstellt Lernmaterial nicht jedes Mal von Grund auf neu sondern er nimmt als Ausgangspunkt bereits bestehendes Material, das er dann entsprechend seinen Bedürfnissen modifiziert. Dazu werden häufig ganze Teilstrukturen bzw. Codefragmente aus anderen Lernmaterialien herausgeschnitten (Cut), in das neu zu erstellende Lernmaterial eingefügt (Paste) und an den neuen Verwendungszweck angepaßt.

Stellt man den Autoren und Lehrern Mechanismen zur Verfügung, die ihnen helfen Design Pattern wiederzuverwenden, dann führt dies nicht nur zu einer Reduktion des Aufwands, und somit auch der Kosten, sondern auch zu einer Erhöhung der Qualität des Lernmaterials, da bewährte Implementierungen übernommen und so Fehler in der Umsetzung vermieden werden können. Existierende Realisierungen dienen quasi als Fertigbauteile, auf die bei der Erstellung von neuem Lernmaterial zurückgegriffen werden kann.

Es gibt mehrere Möglichkeiten zur Unterstützung von Entwurfsmustern:

- ▶ Erstellen einer Sammlung von gut dokumentiertem Beispiel-Lernmaterial, das einem Autor als Vorbild für eigenes Lernmaterial dienen kann. Hierfür ist keine besondere Unterstützung von Seiten des Systems nötig. Solch eine Sammlung kann, vor allem wenn sie gut dokumentiert ist, einem Autor wertvolle Anregungen geben und ist eine gute Quelle, von der ein Autor Ideen und Code übernehmen kann. In einfachen Fällen wird die komplette Struktur des Beispiel-Materials übernommen, und lediglich die verwendeten Lernmaterialien und Benutzerprofilanfragen werden angepaßt. Etwas komplizierter gestaltet sich die Wiederverwendung, wenn strukturelle Anpassungen notwendig sind, z.B. weitere Unterstrukturen zusätzlich zu denen im Beispiel-Material. Dies erfordert eine entsprechend gute Dokumentation, die auch darüber Auskunft gibt, welche Anpassungen für strukturelle Änderungen notwendig sind.
- ▶ *Wizards* sind spezielle Autorenwerkzeuge, die anhand von Autorenvorgaben automatisch ein Codegerüst für Lernmaterial oder komplettes Lernmaterial erstellen. Ein Wizard erzeugt den Code für die Realisierung der mit einem Design Pattern verbundenen Grundfunktionalität und nimmt dem Autor damit wesentliche Teile der Implementierungsarbeit ab. Der Autor muß nur solche Details selbst hinzufügen, die spezifisch für sein Lernmaterial sind. Da die Eingabe der Vorgaben zumeist interaktiv erfolgt und der Autor durch die einzelnen Schritte geführt wird, können mit Wizards auch Autoren ohne Programmierkenntnisse Lernmaterial erstellen. Wizards sind keine Bestandteile des Laufzeitsystems, sondern sie sind selbständige Werkzeuge, die die Funktionalität eines Design Pattern auf die vorhandenen Beschreibungselemente abbildet¹.
- ▶ Bei *Generischem Lernmaterial* unterstützt das Lernsystem die Definition und Verwendung von parametrisierbaren Implementierungen für bestimmte Funktionalitäten (Templates). Auch hier muß ein Autor lediglich die von ihm gewünschten Parameter vorgeben, um Lernmaterial mit dem gewünschten Inhalt und Verhalten zu erstellen. Aber anders als bei der Verwendung von Wizards, bei der das Entwurfsmuster von einem externen Werkzeug auf die vorhandenen Grundelemente abgebildet wird, ist bei generischem Lernmaterial das Entwurfsmuster direkt aus der Spezifikation des Lernmaterials ersichtlich. Um generisches Lernmaterial verwenden zu können, ist eine gute Dokumentation unentbehrlich, die die Funktion des Materials und vor allem die Bedeutung der Parameter beschreibt.

Daß Wizards und generisches Lernmaterial implementierungsspezifische Details vor dem Autor verbergen, erhöht die Benutzerfreundlichkeit, da dieser sich so auf die lernspezifischen Aspekte konzentrieren kann.

Lediglich bei generischem Lernmaterial ist der Lernmaterialbeschreibung zu entnehmen, welches Entwurfsmuster es realisiert. Da diese Information wichtig für die Auswahl von Lernmaterial ist, sollte sie auch Bestandteil der Metadaten sein.

3.1.4 Anpaßbarkeit

Kurse mit festem Inhalt und fest vorgegebenem Kursverlauf, der unabhängig vom jeweiligen Schüler ist, haben durchaus ihre Berechtigung, etwa wenn es gilt, einer homogenen Gruppe von Schülern identisches Wissen oder identische Fähigkeiten zu vermitteln. Darüberhinaus wünscht man sich aber auch Lernmaterial,

1. Aus Systemsicht gibt es daher keinen Unterschied zwischen Lernmaterial, das komplett von Hand erstellt ist, und solchem, das mit einem Wizard erzeugt wurde.

oder, genaugenommen, Kurse, die sich den spezifischen Wünschen und Bedürfnissen eines Schülers anpassen. Anpassung kann folgende Ziele verfolgen:

- ▶ Anpassung an die technischen Möglichkeiten und Beschränkungen des aktuellen Arbeitsplatzes
- ▶ Anpassung an allgemeine persönliche Eigenschaften des Schülers. Unter allgemeinen persönlichen Eigenschaften sollen solche verstanden werden, die unabhängig vom Wissensstand des Schülers sind. Daher kann man davon ausgehen, daß diese sich im Verlauf der Wissensvermittlung nicht verändern. Dazu gehören z.B. Sprachkenntnisse oder persönliche Präferenzen hinsichtlich verwendeter Medien und Vorgehensweisen.
- ▶ Thematische Anpassung, d.h. Anpassung an das Vorwissen und das Lernziel. Dabei ist es nicht nur von Interesse zu wissen, welches Wissen vermittelt werden soll, sondern auch, welche Detailtiefe gewünscht ist.
- ▶ Anpassung an den Lernverlauf, d.h. der weitere Verlauf des Kurses soll abhängen von dem bisherigen Verhalten des Schülers und seinem Lernerfolg. So könnte z.B ein bestimmtes Thema solange wiederholt werden, bis der gewünschte Lernerfolg erreicht wurde.

Eine Möglichkeit der Anpassung ist, daß ein Lehrer oder das Lernsystem einen Kurs individuell für den Schüler zusammenstellt. Siehe hierzu auch die Betrachtungen zur Competency-Gap-Analyse bei Ostyn [43]. Eine Anpassung an den Lernverlauf ist nur möglich, wenn das Lernmaterial erlaubt, zu definieren, wie die Anpassung zu erfolgen hat. Dies ist insbesondere auf der Wissensmodellierungsebene von Bedeutung, wo die Anordnung der Lernschritte definiert wird.

3.1.5 Materialpflege

Lernmaterial muß nicht nur einfach bereitgestellt werden, sondern es muß auch gepflegt werden. Idealerweise sollte Lernmaterial, nachdem es erstellt worden ist, sich nicht mehr verändern¹. In der Praxis läßt es sich jedoch nicht vermeiden, daß Lernmaterial zu einem späteren Zeitpunkt doch verändert werden muß, z.B. um Fehler zu beseitigen oder um es zu aktualisieren. In der Mehrzahl der Fälle wird es im Interesse des Trainingsproviders sein, daß ein Schüler immer die aktuellste Version des Lernmaterials verwendet, denn so enthält sein Lernmaterial alle Korrekturen und Aktualisierungen. Es gibt jedoch auch Gelegenheiten, bei denen dies nicht erwünscht ist. Hat ein Autor ein Lernmaterial (z.B. Bild), das er in seinem Lernmaterial verwendet, deshalb ausgewählt, weil es ein spezifisches Detail, das für ihn von Bedeutung ist, besonders gut darstellt, und bezieht er sich in seinem Lernmaterial auf dieses spezifische Detail, dann kann es ein Problem sein, wenn das verwendete Lernmaterial automatisch durch eine aktuellere Version ersetzt wird, nämlich dann, wenn die aktuellere Version dieses Detail nicht mehr zeigt. In diesem Fall führt die Aktualisierung nicht zu einer Verbesserung des Lernmaterials, sondern sie macht es im Gegenteil unbrauchbar. In solch einer Situation würde ein Autor gerne sicher stellen können, daß immer ein bestimmter Stand des Lernmaterials verwendet wird.

Diese widersprüchlichen Anforderungen, daß man Lernmaterial aktualisieren können soll, andererseits in bestimmten Situationen die Aktualisierung außer Kraft setzen will, lassen sich unter einen Hut bringen, wenn man erlaubt, daß Lernmaterial in mehreren Versionen vorliegen kann und angebar ist, welche Version verwendet werden soll. Wird Lernmaterial geändert, dann führt das nicht dazu, daß das vorhandene Lernmaterial durch eine neue Variante ersetzt wird, sondern es kommt lediglich eine weitere Version hinzu.

Für einen Trainingsprovider ist es ein wichtiges Anliegen, die Qualität des von ihm bereitgestellten Lernmaterials sicherzustellen. Dazu bedarf es auch Mechanismen zur Qualitätssicherung:

- ▶ Durch einen Reviewprozeß, den alles Lernmaterial durchlaufen muß, bevor es an Schüler ausgeliefert werden darf, läßt sich die Einhaltung von Qualitätsstandards erreichen.
- ▶ Aus statistischen Daten über die Nutzung des existierenden Lernmaterials lassen sich wertvolle Hinweise darüber ableiten, wo die Stärken und Defizite des existierenden Lernmaterials liegen und welche Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung ergriffen werden sollten.

Sowohl von Seiten der Nutzer als auch der Anbieter von Lernmaterial besteht Interesse, durch die Zertifizierung von Lernmaterial eine verlässliche Basis für die Bewertung der Qualität von Lernmaterial zu schaffen. Diesbezügliche Aktivitäten existieren zwar, befinden sich aber noch in einem sehr frühen Stadium.

3.1.6 Adäquate Unterstützung der unterschiedlichen Lernmaterialebenen

Das Erstellen von Lernmaterial erfordert das Zusammenspiel aller in Abschnitt „2.4.1 Die drei Lernmaterialebenen“ vorgestellten Experten. Das Arbeitsgebiet eines jeden Experten beschränkt sich auf einen klar abge-

1. Schüler greifen nur lesend auf das Lernmaterial zu. Zumindestens gilt dies für das Lernmaterial, das beim Trainingsprovider vorgehalten wird.

grenzten Teilbereich, und jeder dieser Experten hat auch eine spezifische Sicht auf den Kurs bzw. das Lernmaterial. Diese unterschiedlichen Expertenebenen und die daraus resultierende Arbeitsteilung muß ein Lernsystem auch in seinem Lernmaterialmodell unterstützen. Denn damit läßt sich der Prozeß der Kurserstellung richtig repräsentieren und die Arbeit der beteiligten Experten geeignet unterstützen. Dies läßt sich erreichen, wenn es für jede der Expertenebenen eine eigene Kategorie von Lernmaterial gibt. Das jeweilige Lernmaterial ist so ausgelegt, daß sich mit ihm die Aspekte, die für diese Ebene von Relevanz sind, spezifizieren lassen. Somit arbeitet jeder Experte auf der für ihn adäquaten Abstraktionsebene in einer für ihn natürlichen und intuitiven Art und Weise. Durch geeignete Autorenwerkzeuge läßt sich in diesem Bereich die Effizienz signifikant verbessern (siehe auch [87]).

3.1.7 Verfügbarkeit

Schüler können nur dann orts- und zeitunabhängig lernen, wenn die Verfügbarkeit der Lernressourcen garantiert ist. Insbesondere die menschlichen Ressourcen (Lehrer, Tutor) sind hierfür ein limitierender Faktor. Gelingt es, deren Expertise auf digitales Lernmaterial zu übertragen, dann kann ein Lernsystem die Aufgaben des menschlichen Lehrers wahrnehmen. Durch ein Lernsystem, das quasi als Multiplikator von Ressourcen (als virtueller Lehrer) fungiert, läßt sich die Verfügbarkeit von Lernen nahezu unbegrenzt erweitern.

Im Zusammenhang mit Verfügbarkeit sind auch folgende Aspekte von Bedeutung:

- ▶ Übertragungsdauer und -kosten
- ▶ Schutz vor unberechtigtem Zugriff und Weitergabe
- ▶ Identifizierbarkeit von Lernmaterial (vor allem beim Lernen nach Bedarf)
- ▶ Organisatorische Aspekte des Zugriffs (Darf ein Schüler direkt auf Lernmaterial zugreifen, etwa über HTTP, oder wird ihm das Lernmaterial vom Trainingsprovider zugesandt?)

3.2 Modulares Lernmaterial

Im folgenden wird dargelegt, welche Vorteile mit der Verwendung eines modularen Kurskonzepts verbunden sind.

Mit einem modularen Kurskonzept läßt sich die Anpassung durch den Austausch von Lernmaterial erreichen. Erfolgt die Ansprache von referenziertem Lernmaterial nicht über einen Identifikator sondern über eine logische Beschreibung der zu realisierenden Funktion, dann läßt sich Lernmaterial leicht austauschen. Ein Kurskonzept, das den Austausch von Lernmaterial erlaubt, bietet einige Vorteile:

- ▶ **Meinungsvielfalt.** Jeder Lehrer/Autor kann seine persönlichen Lehrmeinungen, seinen Lehrstil und seine persönliche Sicht der Dinge als eigenes Lernmaterial umsetzen und anbieten.
- ▶ **Qualität.** Da in einer modularen Umgebung die unterschiedlichen Alternativen austauschbar sind, stehen diese in Konkurrenz miteinander, insbesondere in einem kommerziellen Umfeld. Auf die Dauer werden sich die besseren Alternativen durchsetzen.
- ▶ **Individualisierung.** Unterschiedliche Benutzer werden nur in den allerseltensten Fällen über identisches Vorwissen verfügen. Darüberhinaus können auch solche Schüler, die einen vergleichbaren Wissenstand haben, dennoch unterschiedliche Anforderungen an das verwendete Lernmaterial haben, sei es an die Sprache, die in dem Element verwendet wird, oder an den gewünschten Detaillierungsgrad. Auch die technischen Möglichkeiten, die einem Schüler zur Verfügung stehen, haben Einfluß auf die Wahl der bevorzugten Alternative. Je mehr unterschiedliche Alternativen zur Verfügung stehen, desto besser ist auch die Chance, Lernmaterial zu finden, das den spezifischen Bedürfnissen eines Schülers gerecht wird.
- ▶ **Abwechslung.** Ein Schüler muß sich nicht auf ein Lernmaterial beschränken. Es ist durchaus sinnvoll, daß er von mehr als einem der alternativen Lernmaterialien Gebrauch macht. Hat er zum Beispiel ein Lernmaterial abgeschlossen, aber der gewünschte Lernerfolg ist ausgeblieben, dann kann es durchaus hilfreich sein, es mit einer anderen Alternative zu versuchen; eventuell führt diese zu besseren Ergebnissen. Auch kann es durchaus wünschenswert sein, dem Schüler durch den Einsatz von alternativem Lernmaterial nahezubringen, daß es mehr als nur eine Sicht auf ein bestimmtes Thema gibt.
- ▶ **Wiederverwendung.** Besteht ein Kurs aus einzelnen Modulen, dann lassen sich Teile des Kurses ohne Probleme in anderen Kursen wiederverwenden, ohne daß nicht-benötigte Teile des Ursprungskurses entfernt oder die wiederzuverwendenden Teile kopiert werden müssen.

3.2.1 Modularität in herkömmlichen computer-basierten Kursen

Betrachtet man viele der heutigen CBT-Systeme oder das WWW, dann ist festzustellen, daß diese konzeptionell auf festen, monolithischen Kursen basieren. Wenn überhaupt findet man nur eine Modularisierung auf technischer Ebene, die es erlaubt, den Kurs in mehreren Dateien abzuspeichern. Dabei ist jedoch folgendes festzustellen:

- ▶ Die einzelnen Kursteile verweisen auf- und benötigen einander. Es gibt keine separaten, übergeordneten Strukturen, sondern nur feste Verweise und inhärente Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Kursteilen.
- ▶ Jeder Kursteil ist ein monolithischer Block und enthält voneinander nicht trennbar sowohl die eigentlichen Träger der Lerninhalte (Texte, Bilder usw.) als auch die Layout- und Interaktionsdefinitionen sowie die Kurssteuerung. Jeder Kursteil beinhaltet Information zu allen der drei Lernmaterialebenen.
- ▶ Die Größe der einzelnen Kursteile hängt mehr von technischen Faktoren (z.B. Datenträgervolumen) ab als von inhaltlichen und strukturellen Überlegungen.
- ▶ Wiederverwendung und Austausch von einzelnen Lernmaterialien (z.B. zur Aktualisierung und Anpassung) ist aufgrund der monolithischen Ablage nicht ohne weiteres möglich und erfordert in der Regel die Produktionsumgebung des Herstellers.

Abbildung 8 veranschaulicht diese technische Modularisierung. In Reinkultur findet man diese Art der Modularisierung in Autorensystemen, bei denen es möglich ist, daß jeder Kurs in einer Datei abgelegt wird. Bei WWW-basierten Kursen wird ein Kurs typischerweise nicht in einer Datei, sondern in einer Vielzahl von Dateien abgelegt. Für die elementaren Lernmaterialien werden die entsprechenden Multimediaformate (GIF, JPEG) verwendet. HTML-Dateien beschreiben wie sich diese elementaren Materialien zu einem Kurs kombinieren lassen. Damit scheint es auf den ersten Blick neben der technischen Modularisierung auch eine funktionsbezogene Modularisierung zu geben, die die logischen Aspekte berücksichtigt. Aber dies ist nicht wirklich der Fall: Zum einen ergibt sich die Beschreibung der Kursstruktur nur implizit aus den Verknüpfungen (Hyperlinks) der HTML-Datei und ist somit über alle HTML-Dateien (Kursteile) verteilt. Zum anderen sind vor allem technische Kriterien ausschlaggebend dafür, was zu einem Modul zusammengefaßt wird. Ein Modul im WWW entspricht immer genau einem Datenformat. Logische Zusammengehörigkeit spielt dabei keine Rolle. So kann die Beschreibung der Kursstruktur auf beliebig viele HTML-Dateien verteilt werden. Auch wenn mehrere elementare Lernmaterialien eine logische Einheit bilden und immer zusammen verwendet werden müssen, so gibt es doch keine Möglichkeit, diese zu einem Modul zusammenzufassen. Stattdessen muß jedes als eigenständige Einheit abgespeichert werden. Durch die Hyperlinks hat man auch bei WWW-basierten Kursen feste Verknüpfungen und somit Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Modulen. Daher bilden auch Kurse, die als WWW-Dokumente realisiert sind, monolithische Blöcke.

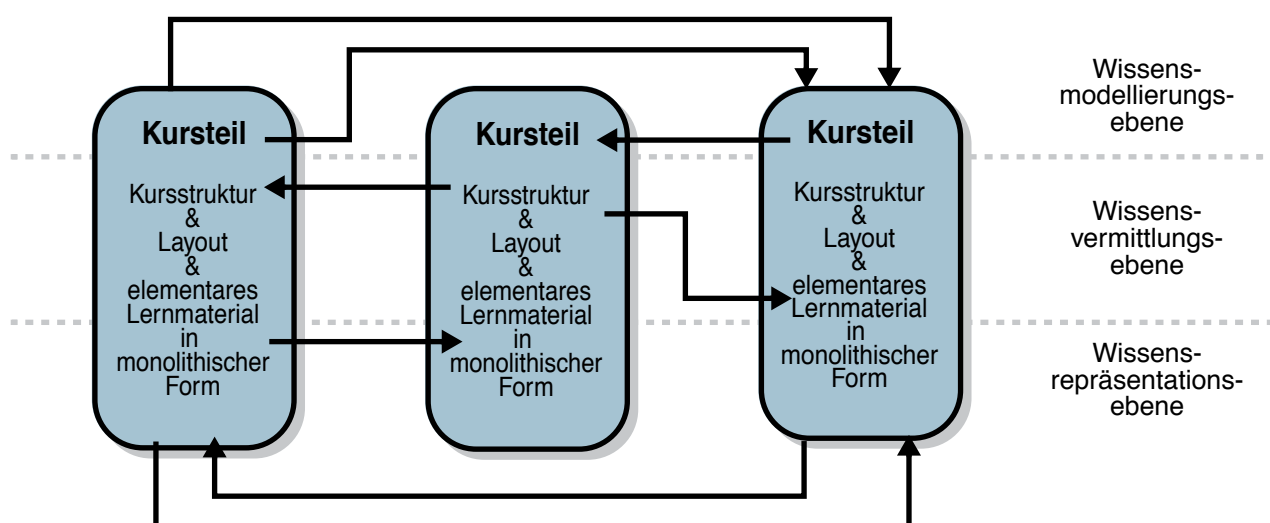


Abbildung 8. Modularisierung in herkömmlichen CBT-Kursen

Durch eine konsequente Modularisierung lassen sich monolithische Kurse vermeiden. Dafür ist es allerdings notwendig, daß sich die Modularisierung vor allem an inhaltlichen Aspekten orientiert und implizite Abhängigkeiten zwischen unterschiedlichen Modulen vermieden werden.

3.2.2 Aufgabenstellung bei der Realisierung eines Lernsystems für modulares Lernmaterial

Für ein Lernsystem, das auf modularem Lernmaterial basiert, benötigt man ein Content Aggregation Modell mit den folgenden Eigenschaften:

- ▶ Ein jedes Lernmaterial muß als ein eigenständiges Modul abgelegt werden.
- ▶ Module dürfen keine anderen Module enthalten, sondern dürfen auf andere Module nur über Referenzen Bezug nehmen. Das heißt auch, ein nicht-trivialer Kurs darf nicht als ein einziges Modul abgelegt werden.
- ▶ Damit ein Modul in unterschiedlichen Kursen einsetzbar ist, darf die Modulansprache nicht kurs- bzw. modulspezifisch sein, sondern es muß ein globaler Referenzierungsmechanismus verwendet werden.
- ▶ Damit unterschiedliche Module austauschbar sind, muß das Modulkonzept eine saubere Kapselung von einzelnen Funktionen erlauben. Dies läßt sich durch die Unterstützung von verschiedenen Modultypen für die unterschiedlichen Funktionen realisieren. Es ist naheliegend, sich bei der Wahl der Modultypen an den in Abschnitt 2.4.1 beschriebenen Lernmaterialebenen zu orientieren.

Damit Module austauschbar sind, muß es für die Verwendung eines Moduls unerheblich sein, wie es seine Funktion erfüllt (Blackbox-Konzept). D.h. man braucht allgemeine Schnittstellen dafür, wie Lernmaterial mit dem Lernsystem interagiert. Jede Interaktion erfolgt ausschließlich über die von der Schnittstelle bereitgestellte Funktionalität. Man braucht folgende Schnittstellen:

- ▶ Kommunikation Lernmaterial mit Kurslaufzeitsystem
- ▶ Kommunikation Kurslaufzeitsystem mit Lernmaterial
- ▶ Austausch von Benutzerprofilaten zwischen Lernsystemen

3.3 Stand der Technik

Für den Einsatz in der Praxis ist es natürlich von Bedeutung, eine Lernumgebung zu realisieren, die diesen Anforderungen genügt. Eine wichtige Voraussetzung für die technische Umsetzung einer solchen Lernumgebung ist für den praktischen Einsatz jedoch die Etablierung von einheitlichen Standards, die es ermöglichen, daß Lernmaterial und andere Informationen zwischen verschiedenen Lernumgebungen ausgetauscht werden können. Dies gilt generell, aber in besonderem Maße, wenn:

- ▶ Schüler an unterschiedlichen Orten lernen.
- ▶ Schüler zu unterschiedlichen Zeiten lernen.
- ▶ eine große Anzahl von Personen geschult werden muß.
- ▶ die Gewährleistung eines einheitlichen, hohen Qualitätsstandards, was den Wissenstand und die Fähigkeiten der beteiligten Personen angeht, ein vordringliches Ziel ist.
- ▶ der Bedarf nach kontinuierlicher Aus- und Weiterbildung für einen Schüler besteht, etwa, um sicherzustellen, daß sein Wissen und seine Fähigkeiten auf dem gewünschten Stand bleiben, weil der Wissensstand und die Fähigkeiten des Schülers den aktuellen Entwicklungen angepaßt werden müssen oder weil der Schüler anderes Wissen oder Fähigkeiten benötigt.

Es gibt in diesem Bereich eine Vielzahl von Standardisierungsaktivitäten. Im folgenden werden die für diese Arbeit relevanten kurz vorgestellt.

3.3.1 Aviation Industry CBT Committee (AICC)

Ein Bereich, in dem alle der oben genannten Kriterien zutreffen, ist die Luftfahrt. Daher wurde dort bereits relativ früh (1988) der Bedarf nach Interoperabilität in der Wissensvermittlung erkannt und entsprechende Standardisierungsaktivitäten in die Wege geleitet. In den *CMI Guidelines for Interoperability* [39] werden die Komponenten einer Lernumgebung, in der der Computer Aufgaben des Lehrers übernimmt, identifiziert und beschrieben. AICC verwendet dafür den Begriff Computer-Managed Instruction (CMI) System. Diese Komponenten sind:

- ▶ Spezifikation der Kursstruktur (development of course structures)
- ▶ Definition und Verwaltung von Tests (testing). Das Verständnis von Tests ist dabei sehr weit gefaßt und umfaßt neben Tests, die mit dem CMI-System oder anderen CBT-Systemen realisiert werden, auch herkömmliche Formen der Lernerfolgskontrolle.
- ▶ Schülerverwaltung und Kurseinteilung (Rostering)
- ▶ Überwachung und Steuerung der Schüleraktivitäten (Student Assignment Management)
- ▶ Sammlung und Analyse von Daten über das Verhalten der Schüler (data collection and management). Der Hauptzweck dieser Daten ist die Überwachung und Sicherstellung des Lernerfolgs. Aber es ist auch vorgesehen, die gesammelten Daten zur Qualitätskontrolle einzusetzen.

Es wird bewußt darauf verzichtet, die interne Funktionsweise dieser Komponenten zu spezifizieren, um unterschiedliche Realisierungen durch unterschiedliche Hersteller zu ermöglichen. Stattdessen wird festgelegt, welche Informationen zwischen den Komponenten ausgetauscht werden und wie dieser Austausch vonstatten geht. Konkret werden Protokolle und Datenformate spezifiziert für:

- ▶ Kommunikation zwischen dem CMI-System und dem Lernmaterial
- ▶ Austausch von Kursen zwischen verschiedenen CMI-Systemen
- ▶ Austausch von Benutzerprofilen

AICC definiert auch eine Umsetzung des CMI-Protokolls für eine WWW-basierte Umgebung. Es gibt zwar auch eine Umsetzung für eine DOS-Umgebung, aber diese ist heute nicht mehr von Bedeutung.

Die in den CMI Guidelines beschriebenen Prinzipien und die dort geprägten Begriffe bilden eine wichtige Grundlage, auf der viele der weiteren Standardisierungsaktivitäten aufbauen.

3.3.2 ARIADNE

Die ARIADNE Foundation ist quasi die Weiterführung der EU-Projekte ARIADNE und ARIADNE II, in denen Werkzeuge und Methoden zur Erzeugung, Verwaltung und Wiederverwendung von computer-basierten, pädagogischen Elementen und Studienplänen entwickelt wurden. Ein Teilziel war dabei der Aufbau von international vernetzten Lernmaterialpools, um Lernmaterial austauschen und wiederverwenden zu können. Die Beschreibung des in den Pools vorhandenen Lernmaterials erfolgte durch Metadaten. Das in ARIADNE entwickelte Metadatenmodell basiert auf dem *Dublin Core* [38] und bildet die Grundlage für den IEEE Learning Object Meta-Data (LOM) Standardentwurf.

3.3.3 Instructional Management Systems Global Learning Consortium (IMS)

Das Instructional Management Systems (IMS) Global Learning Consortium ist ein anwendungsgebiet-übergreifender Zusammenschluß von Mitgliedern aus der Industrie, Ausbildungs- und Regierungseinrichtungen, der sich die Entwicklung offener Industriestandards für Online-Lernen zum Ziel gesetzt hat. Unter den Mitgliedern findet man neben den großen Softwareanbietern auch nahezu alle maßgeblichen Anbieter von Lernsystemen. Die Definition der Spezifikationen erfolgt in Abstimmung und in Zusammenarbeit mit anderen Standardisierungsgremien, vor allem mit dem IEEE LTSC (siehe unten).

Das *IMS Content Packing Information Model* [51] definiert, wie man Lernmaterial zu Einheiten (Packages) zusammenpacken kann, mit denen sich Kurse an Schüler oder andere Lehrinstitutionen weitergeben lassen. Ein Package entspricht einem logischen Verzeichnis, das neben den Dateien mit den Lernressourcen auch ein sogenanntes Manifest enthält. Dieses Manifest ist eine Beschreibung des Kurses (Packages) und der enthaltenen Lernressourcen. Es enthält Metadaten zur Beschreibung des Package (Meta-data), der einzelnen Lernressourcen (Resources) und der Struktur der Lernressourcen (Organization). Es ist erlaubt, in einem Package mehr als eine Struktur zu definieren. Auch die Verwendung von Untermanifesten ist möglich. Abbildung 10 „Aufbau ein IMS Manifests“ auf Seite 34 ist entnommen aus der Spezifikation des *IMS Content Packing Information Model* und vermittelt einen etwas detaillierteren Einblick in den Aufbau eines Manifests. Das *IMS Learning Resource Meta-Data Information Model* [54] legt fest, wie die Metadaten, die zur Beschreibung der einzelnen Elemente verwendet werden, auszusehen haben. Das *IMS Learning Resource Meta-Data Information Model* ist eine spezifische Ausprägung des Learning Object Meta-Data (LOM) Standardentwurfs des IEEE. Sowohl für das Content Packing Information Model als auch für das Meta-Data Information Model spezifiziert IMS XML Bindings [52][55], und es gibt Empfehlungen für die Verwendung (*IMS Content Packing Best Practice Guide* [53] und *IMS Learning Resource Meta-Data Best Practice and Implementation Guide* [56]).

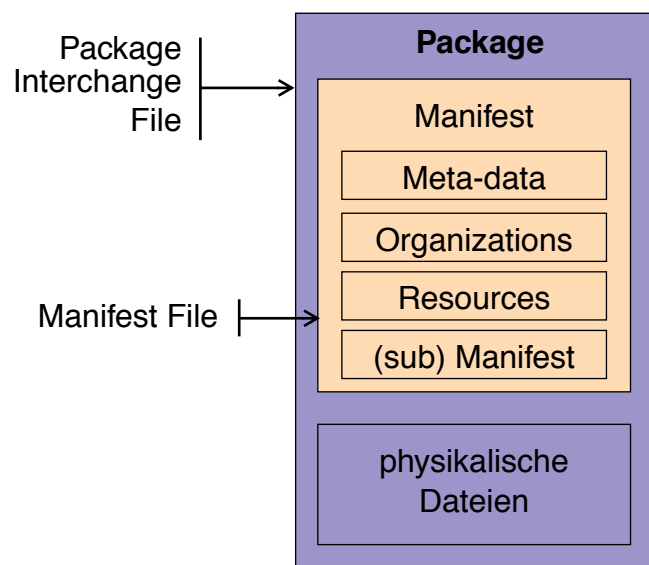


Abbildung 9. IMS Content Packaging

3.3.4 IEEE Learning Technology Standards Committee (LTSC)

Unter dem Dach des Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) beschäftigt sich im Learning Technology Standards Committee (LTSC) eine wechselnde Anzahl von Arbeitsgruppen mit der Standardisierung von unterschiedlichen Aspekten von Computer-unterstütztem Lernen. Das IEEE ist international tätig, jedoch stark von den USA beeinflusst. Es spielt eine wichtige Rolle in der Normung, wenn auch die Normen des IEEE nicht die internationale Verbindlichkeit etwa von ISO-Normen besitzen. IEEE-Normen werden mitunter in einem besonders schnellen Verfahren (Fast-Track) auch bei ISO genormt; Voraussetzung hierfür ist allerdings der Konsens der internationalen Normungsbehörden.

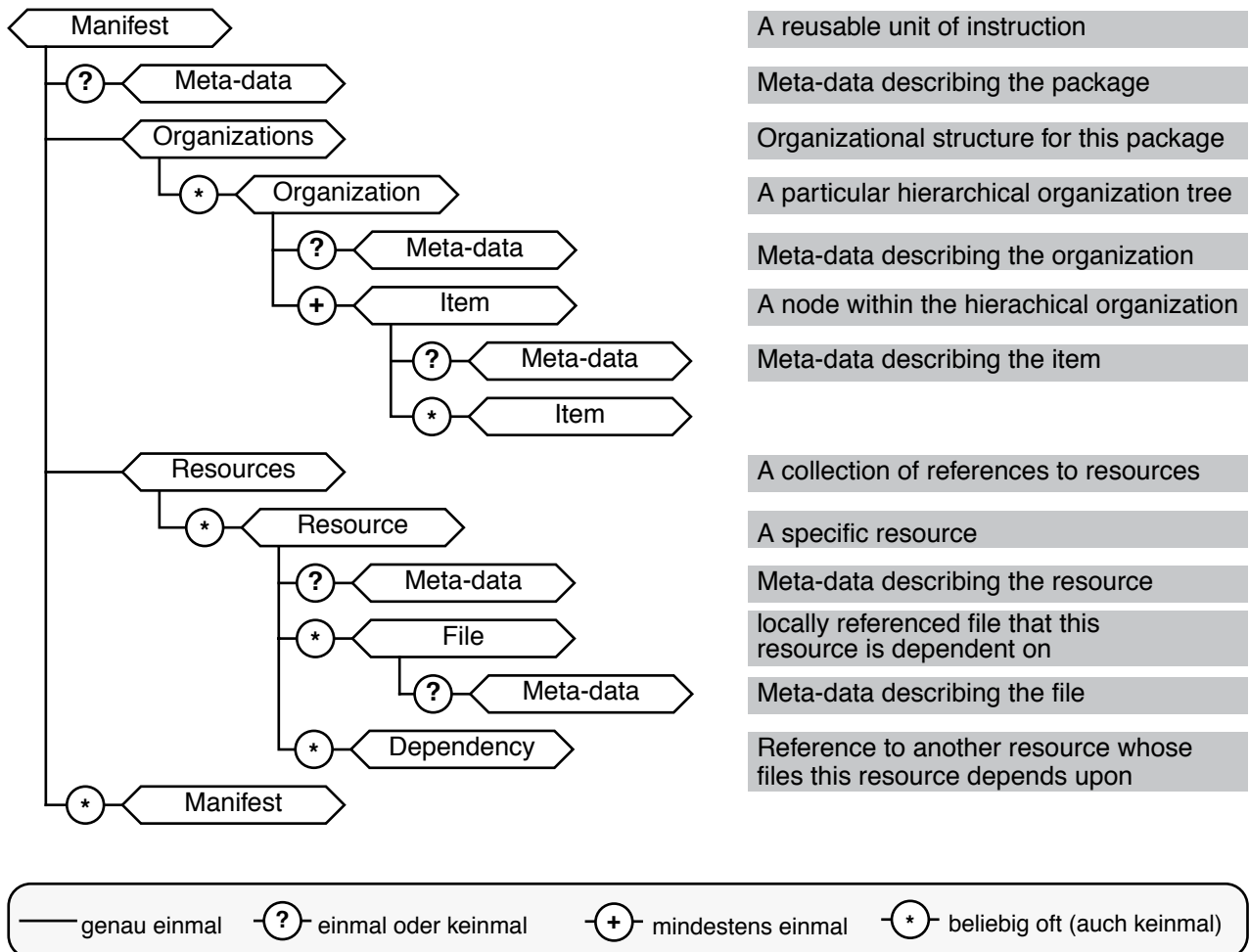


Abbildung 10. Aufbau ein IMS Manifests

Die aktivsten Arbeitsgruppen im LTSC sind gegenwärtig WG1 (Architektur), WG3 (Glossary), WG11 (Computer Managed Instruction) und WG12 (Learning Object Metadata). Andere Arbeitsgruppen wie WG2 (Learner Model) und WG20 (Competencies) warten noch auf die Ergebnisse anderer Initiativen.

1998 wurde von ARIADNE und IMS ein gemeinsamer Vorschlag für die Standardisierung von Metadaten für Lernressourcen eingereicht. Daraus hat sich der Learning Object Meta-Data (LOM) Standard entwickelt, der als IEEE-Norm so gut wie verabschiedet ist. Die Definition dieser Metadaten ist dabei nicht auf die Bedürfnisse eines speziellen Anwendungsgebiets beschränkt, sondern darauf ausgelegt, daß sich mit ihr alle Aspekte ausdrücken lassen, die für die Nutzung von Lernressourcen von Relevanz sein können. Das vom LTSC definierte Metadaten-Modell bietet ein standardisiertes Vokabular, mit dessen Hilfe Beschreibungen von Lernmaterial spezifiziert und zwischen unterschiedlichen Partnern (z.B. Lernsystemen) ausgetauscht werden können.

LOM bildet die Basis für viele weitere Standardisierungsbemühungen und entwickelt sich immer mehr und mehr zu der lingua franca für die Beschreibung von Lernmaterial und anderen für das Lernen relevanten Informationen.

3.3.5 Advanced Distributed Learning Initiative (ADL)

Die Advanced Distributed Learning Initiative (ADL) wurde im November 1997 vom U.S. Department of Defense (DoD) and the White House Office of Science and Technology Policy (OSTP) ins Leben gerufen mit dem Ziel, eine einheitliche Lernumgebung zu definieren, die gewährleistet, daß Schüler zeit- und ortsunabhängig auf hoch-qualita-tives, auf die spezifischen Bedürfnisse des Schülers zugeschnittenes Lernmaterial zugreifen können.

ADL konzentriert sich dabei bewußt auf die für die Ausführung relevanten Aspekte (execution and tracking of material). Kernstück der Aktivitäten von ADL ist das Sharable Content Object Reference Model (SCORM) [57][58]. Dieses definiert ein WWW-basiertes Content Aggregation Modell und eine Laufzeitumgebung für Lernmaterial. In diese Spezifikation ist beispielsweise auch ein Nutzungsprofil des LOM-Entwurfs des IEEE LTSC eingebettet.

Mit SCORM führt ADL jedoch keinen eigenen Standard ein, sondern legt fest, wie in Arbeit befindliche Standards verwendet bzw. umgesetzt werden können. Abbildung 11 zeigt, auf welche anderen Standards SCORM aufsetzt.

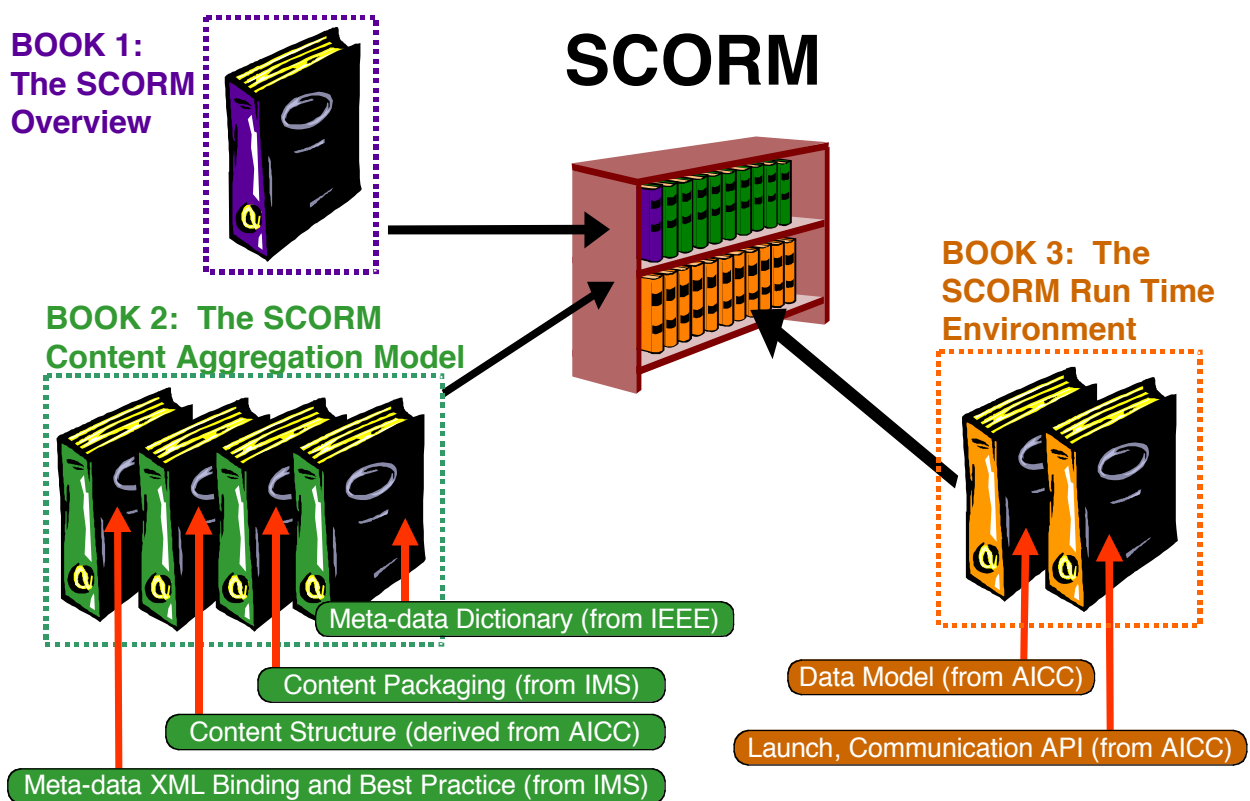


Abbildung 11. SCORM als Kombination existierender Standards (aus SCORM Overview)

Das SCORM Content Aggregation Modell beschreibt, wie unterschiedliches Lernmaterial zu einem Kurs zusammengefaßt werden kann und zwar in einer Art und Weise, daß sich dieser Kurs zwischen verschiedenen Lernsystemen austauschen läßt. Hier wurde von den Vorarbeiten des AICC Gebrauch gemacht. Neben den Methoden zur Zusammenstellung und zum Austausch von Kursen definiert das SCORM Content Aggregation Modell vor allem auch die Metadaten, die dabei verwendet werden.

Die SCORM Laufzeitumgebung definiert, wie Lernmaterial gestartet wird und wie Lernmaterial und Lernumgebung Informationen austauschen können. Auch hier wurden die Vorarbeiten des AICC genutzt. Dies geschieht durch die Definition eines Data Modells und der entsprechenden Programmierschnittstellen (APIs). SCORM-kompatibles Lernmaterial kann auf jedem Kurslaufzeitsystem ausgeführt werden, das dieses Datenmodell unterstützt und die APIs realisiert.

Mit MS LRN von Microsoft und ToolBook von Click2Learn gibt es Anwendungen von namhaften Firmen, die SCORM unterstützen.

3.3.6 ISO/IEC JTC1 SC36

Im Rahmen des Joint Technical Committee 1 (JTC1) von ISO (International Organization for Standardization) und IEC (International Electrotechnical Commission), das mit der Standardisierung im Bereich IT-Technologie befaßt ist, gibt es auch eine Arbeitsgruppe (SC36), die sich mit dem Bereich Lernen und Aus- und Weiterbildung befaßt.

SC36 macht von den Ergebnissen der Spezifikationen Gebrauch, wie diese bei AICC, IMS, IEEE LTSC, ADL und anderen Initiativen und Verbänden – z.B. dem japanischen Advanced Learning Infrastructure Consortium (ALIC) oder dem australischen Education Network Australia (EdNa) – entwickelt werden. Gegenwärtige Aktivitäten liegen in den Bereichen „Terminologie“, „Kurs-Kurslaufzeitsystem-Kommunikation“, „Lernmaterial-Import und -Export“, „Kooperatives Lernen“ sowie „Datenmodell für Lerner“.

Parallel zu den in Abschnitt „3.3 Stand der Technik“ geschilderten Entwicklungen arbeitet seit den 90er Jahren auch das Fachgebiet GRIS der TU Darmstadt zusammen mit weiteren europäischen Partnern an der Entwicklung einer Lernumgebung für modulares Lernmaterial, dem *Modularen Trainingssystem* (MTS). Es liegt an den inhärenten Gesetzmäßigkeiten dieses Forschungsbereichs, daß die hier erarbeiteten Lösungsansätze und Konzepte in vieler Hinsicht mit denen übereinstimmen, die die Basis für die vielfältigen Standardisierungsaktivitäten bilden.

In diesem Abschnitt werden die Konzepte des Modularen Trainingssystems im Detail vorgestellt sowie Aspekte bei der Umsetzung in ein reales System dargestellt. Dabei wird aufgezeigt, inwieweit die – im Rahmen dieser Arbeit entwickelten – Konzepte und Lösungen mit denen aus den Standardisierungsaktivitäten übereinstimmen und wo Unterschiede liegen. Diese Arbeit konzentriert sich auf Aspekte, die für die Durchführung der Wissensvermittlung (Kurslaufzeit) relevant sind. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei ebenfalls dem Aspekt Sicherheit. Auf andere Aspekte, wie etwa Unterstützung für die Erstellung von Lernmaterial, dessen Auswahl, die Bewertung von Schülern und Administration von Lernmaterial wird nur insofern eingegangen, wie es für den Entwurf und die Realisierung eines Kurslaufzeitsystems von Interesse ist. Weiterführende Betrachtungen zum Thema Wissensrepräsentation findet man bei [85]. Mit dem Thema Materialerstellung befaßt sich auch [89]. Arbeiten die im Umfeld von MTS stattfanden sind [86], [87] und [88]. Mit der Verwaltung einer Lernumgebung befassen sich [89] und [90].

4.1 Überblick über das Modulare Trainings System

4.1.1 Zielsetzungen für MTS

Ziel der Aktivitäten war es, ein leistungsfähiges, pädagogisch/didaktisch neutrales Lernsystem zu entwickeln, mit dem unterschiedliche Institutionen gemeinsam Lernmaterial entwickeln und nutzen können. Daraus ergaben sich die folgenden Anforderungen an Lernmaterial:

- ▶ Es sollen Kurse mit einem Höchstmaß an Flexibilität und Anpaßbarkeit realisierbar sein, nicht nur fest vorkonfigurierte Kurse.
- ▶ Der Lehrer/Autor soll nicht auf einen fest vorgegebenen Satz von Vermittlungsstrategien und didaktischen Vorgehensweisen beschränkt sein, sondern in der Lage sein, beliebige Vermittlungsstrategien und Vorgehensweisen zu realisieren.
- ▶ Die Wiederverwendung von Lernmaterial muß möglichst einfach sein.

Dies soll realisiert werden, indem der Modularitätsgedanke konsequent auf Lernmaterial angewendet wird:

- ▶ Abbildung der unterschiedlichen Lernmaterialebenen (siehe Abschnitt 2.4.1) auf verschiedene Lernmaterialklassen, um den Lernprozeß adäquat wiederzugeben und bei der Lernmaterialerstellung durch Werkzeuge unterstützen zu können, die den spezifischen Bedürfnissen der unterschiedlichen Autorenkategorien angepaßt sind.
- ▶ Module sollen die saubere Kapselung der inhaltlichen und funktionellen Aspekte von Lernmaterial ermöglichen. Module sollen als individuelle Einheiten abgelegt werden und in kursübergreifend eindeutiger Weise ansprechbar sein. Dies erlaubt den Aufbau eines globalen¹ Pools von wiederverwendbarem Lernmaterial und führt zu einer signifikanten Senkung der Kosten bei der Lernmaterialerstellung.
- ▶ Konsequente und konsistente Verwendung von Metadaten. Wie in Abschnitt 2.2.3 beschrieben, dienen Metadaten zur Beschreibung von Lernmaterial, Schülern und den Absichten, die hinter einer konkreten Verwendung von Lernmaterial stehen. Sie sind von zentraler Bedeutung für den Einsatz von Lernmaterial in einem Lernsystem. MTS behandelt Metadaten daher konsequenterweise als einen integralen Bestandteil von Lernmaterial im Sinne kontextspezifischer Metadaten.
- ▶ Die konsequente Ausnutzung des Modularitätsgedankens bei der Beschreibung von Lernmaterial erlaubt den Austausch von Modulen. Um Kurse mit einem Höchstmaß an Flexibilität und Anpaßbarkeit und nicht nur fest vorkonfigurierte Kurse realisieren zu können, erlaubt MTS nicht nur die statische Referenzierung von Lernmaterial (über eindeutige Namen) sondern auch durch dynamische Referenzierung. Dort werden Referenzen über eine best-fit Suche zur Laufzeit auf Lernmaterial aufgelöst.

1. Der Begriff „global“ bezieht sich lediglich auf einen weltweit eindeutigen Namensraum; es wird keine Aussage über Ablage und Standort der Daten gemacht.

Durch die Implementierung eines prototypischen Lernsystems – des MTS – sollte die Realisierbarkeit dieser Idee nachgewiesen werden (Proof of Concept). Zum Zeitpunkt des Entwurfs dieses Systems waren die parallelen Arbeiten beim AICC noch nicht bekannt. Daher erfolgte der Entwurf des MTS-Konzepts auch unbeeinflusst von Aktivitäten dort und erlaubte die Entstehung eines fortschrittlicheren Kurskonzepts.

4.1.2 Funktionsblöcke des MTS

Auf konzeptueller Ebene sieht das MTS die in Abbildung 12 gezeigten Funktionsblöcke vor. Diese Abbildung veranschaulicht auch die Beziehungen der einzelnen Funktionsblöcke untereinander sowie mit unterschiedlichen Benutzern. Dieses Modell berücksichtigt alle Aufgabenbereiche der Wissensvermittlung und beschränkt sich nicht nur auf die Kursausführung. Daher findet man in dem Modell neben dem Schüler und dem Tutor auch den Autor, den Lehrer und den Administrator. Durch farbliche Hervorhebung ist dargestellt, welche der Funktionsblöcke für die Durchführung der Wissensvermittlung relevant sind. Auf diese wird später noch detailliert eingegangen.

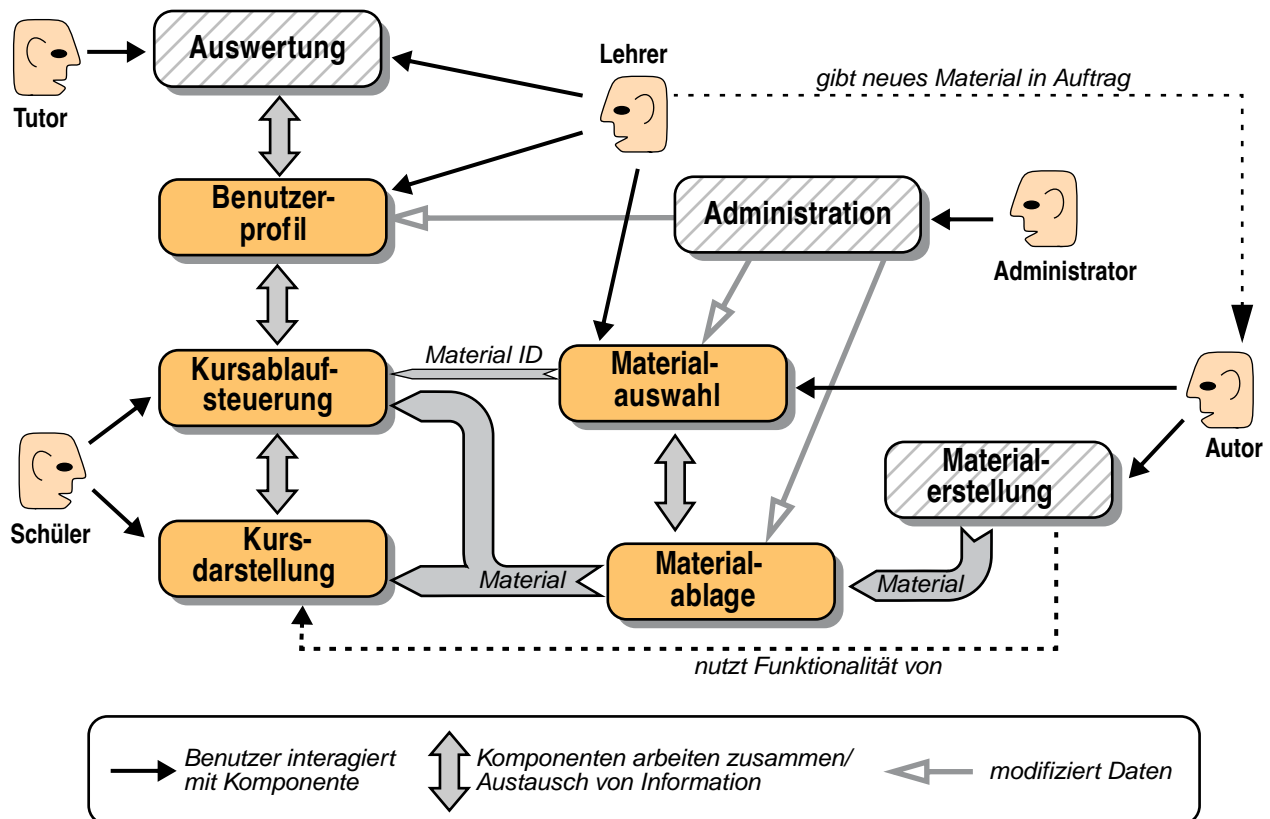


Abbildung 12. Funktionsblöcke des MTS

Der Schüler interagiert direkt nur mit zwei der Funktionsblöcke, der Kursdarstellung und der Kursablaufsteuerung. Die *Kursdarstellung* übernimmt die Darstellung der Kursinhalte und handhabt auch die Interaktionen des Schülers mit dem Lernmaterial. Die *Kursablaufsteuerung* hat die Aufgabe, die Darstellung der Kursinhalte so zu koordinieren, daß als Resultat der Präsentation die gewünschten Lernziele erreicht werden. Daher hält und verwaltet sie den aktuellen Kurszustand. Dieser enthält jedoch nur die kursspezifischen Laufzeitinformationen; jede Information über den Benutzer, die von kursübergreifendem Interesse sein könnte, wird im Benutzerprofil abgelegt. Anhand dieses Kurszustands, der Vorgaben des Autors im Lernmaterial der Wissensmodellierungsebene, der verfügbaren Information über den Wissenstand und die Präferenzen des Schülers (Benutzerprofil) und gegebenenfalls der Verfügbarkeit von Lernmaterial entscheidet die Kursablaufsteuerung über den weiteren Verlauf des Kurses. Sie verfügt über eine eigene graphische Benutzungsschnittstelle für die Kursnavigation. Die Kursablaufsteuerung entscheidet zwar, in welcher Reihenfolge Lernmaterial darzustellen ist, aber sobald diese Entscheidung getroffen worden ist, übergibt sie die Kontrolle für die Dauer der Darstellung an die Kursdarstellung. Tritt während der Darstellung ein Ereignis ein, das von Bedeutung für den Kurszustand ist, dann wird dieses Ereignis an die Kursablaufsteuerung weitergeleitet und von dieser ausgewertet und gegebenenfalls im Benutzerprofil abgelegt. Umgekehrt kann die Kursdarstellung auch Information über den aktuellen Kurszustand und das Benutzerprofil von der Kursablaufsteuerung erfragen.

Zur Realisierung ihrer Aufgaben benötigt die Kursablaufsteuerung Zugang zu dem Lernmaterial auf der Wissensmodellierungsebene, da dieses die Anordnung der Lernschritte beschreibt. Die Kursdarstellung dagegen

benötigt Zugriff auf das Lernmaterial auf der Wissensvermittlungs- und der Wissensrepräsentationsebene. Alles Lernmaterial wird inklusive der Metadaten persistent in der *Materialablage* gespeichert. Die Materialablage unterstützt jedoch nur den direkten Zugriff auf Lernmaterial, d.h. es muß explizit angegeben werden, auf welches Lernmaterial zugegriffen werden soll. Die *Materialauswahl* erlaubt eine best-fit Suche von Lernmaterial mit spezifizierbaren Bewertungsparametern. Unter Verwendung der mit dem Lernmaterial assoziierten Metadaten kann sie ermitteln, welches Lernmaterial einer logische Beschreibung am besten entspricht. Dieses Lernmaterial kann dann von der Materialablage angefordert werden. Der Lehrer und der Autor verwenden die Materialauswahl, um Material zu finden, das den Bedürfnissen eines Schülers bzw. dem beabsichtigten Lernziel am besten entspricht. Die letztgenannte Nutzung der Materialauswahl erfolgt außerhalb eines Kurses bei der Lernmaterialproduktion. MTS sieht aber auch vor, daß erst im Verlauf eines Kurses durch eine Abfrage an die Materialauswahl entschieden wird, welches Lernmaterial für eine bestimmte Aufgabe verwendet wird (siehe auch Abschnitt „4.4.1 Statische und dynamische Referenzen“).

Der Funktionsblock *Benutzerprofil* ist zuständig für die dauerhafte Ablage und Verfügbarmachung von Informationen über den aktuellen Wissenstand und die Vorlieben der Schüler. Diese Metadaten verwendet die Kursablaufsteuerung, um einen Kurs an den bekannten Kenntnisstand, den Lernbedarf und die Vorlieben eines Schülers anpassen. Ein detailliertes Protokoll über den Kursverlauf und die Ergebnisse von Lernerfolgskontrollen werden von der Kursablaufsteuerung im Benutzerprofil abgelegt.

Lehrer und Tutor müssen den Wissensstand eines Schülers einschätzen können. Alle dafür verfügbaren Informationen finden sich im Benutzerprofil. Der Funktionsblock *Auswertung* bereitet die im Benutzerprofil enthaltenen Informationen entsprechend den Bedürfnissen des Lehrers oder Tutors auf und visualisiert sie. Weiterhin muß der Lehrer auch über Möglichkeiten verfügen, das Benutzerprofil eines Schülers zu bearbeiten; sei es bei der Erstellung eines Benutzerprofils für einen neuen Schüler, nach erfolgter Zertifizierung oder um korrigierend eingreifen zu können, falls die in den Profilen enthaltenen Informationen nicht mit seiner Einschätzung des Schülers übereinstimmen.

Mit den Werkzeugen aus der *Materialerstellung* kann ein Autor neues Lernmaterial erstellen und in der Materialablage ablegen. Dazu gehört auch die Erstellung der Metadaten, die wie oben erläutert für die Nutzung von Lernmaterial in Rechnern unverzichtbar ist. Die Materialerstellung arbeitet mit der Kursdarstellung zusammen, um dem Autor eine Vorschau auf das neue Material zu ermöglichen. Allerdings benötigt die Materialerstellung für die Vorschau eine spezielle Kurssteuerung, da es signifikante Unterschiede zwischen der Vorschau und der eigentlichen Präsentation gibt, so z.B. hinsichtlich der Verwendung von Benutzerprofilen¹ oder der Aktionen, die ein Benutzer ausführen kann². Viele der Werkzeuge aus der Materialerstellung – z.B. Visualisierung einer Kursstruktur oder Debugger – werden auch für die Qualitätskontrolle benötigt. Sie ermöglichen es einem Reviewer, sich ein Bild davon zu machen, wie gut Lernmaterial seine Zielvorgaben³ realisiert.

Der Funktionsblock *Administration* umfaßt all die Werkzeuge zur Benutzer- und Lernmaterialverwaltung, Nutzungsabrechnung, und gegebenenfalls Zertifizierung, die für die Verwaltung und die Aufrechterhaltung des Betriebs der Lernumgebung benötigt werden.

Vergleicht man die MTS-Funktionsblöcke mit den in Abbildung 4 auf Seite 10 dargestellten abstrakten Funktionen in einem Lernprozeß, dann erkennt man: Die Kursdarstellung realisiert die abstrakte Funktion „Zugang zu den Lernressourcen“, die Kursablaufsteuerung die abstrakte Funktion „Anleitung“ und die Auswertung die abstrakte Funktion „Lernerfolgsüberwachung“. Die Materialauswahl und das Benutzerprofil entsprechen den Metadaten und die Materialablage den Lernressourcen. Da die MTS-Funktionsblöcke Administration und Materialerstellung nicht in die eigentliche Wissensvermittlung involviert sind, lassen sie sich auch keiner abstrakten Funktion zuordnen.

Man erkennt auch, daß MTS über alle fünf Komponenten verfügt, die das AICC von einem CMI-System erwartet (siehe Abschnitt 3.3.1):

- ▶ MTS erlaubt die Spezifikation der Kursstruktur als Lernmaterial auf der Wissensmodellierungsebene und es verfügt über Laufzeitkomponenten, mit denen sich Lernmaterial (Kursdarstellung) und auch die Kursstruktur (Kursablaufsteuerung) ausführen lassen.
- ▶ Mit MTS lassen sich Tests als Lernmaterial realisieren und ausführen. Dabei sammelt und verwaltet das MTS die Testergebnisse. Im Gegensatz zu AICC geschieht dies jedoch nicht nur kursspezifisch. Tester-

1. Bei einem Schüler müssen sich alle Aktionen auch auf sein Benutzerprofil auswirken. Ein Autor wird im Vorschaumodus selten mit seinem eigenen Benutzerprofil arbeiten wollen. Stattdessen wird er das Material mit verschiedenen angenommenen Benutzerprofilen testen wollen.

2. So darf im Vorschaumodus ein Autor einen Test jederzeit beenden, während dies einem Schüler beim Lernen nicht erlaubt ist.

3. Die Werkzeuge erlauben lediglich die Bewertung, wie gut die Übereinstimmung ist. Für die Einschätzung, welche Zielvorgaben verfolgt wurden und wie sie umgesetzt werden sollen, ist eine gute Dokumentation unabdingbar.

gebnisse werden mit Bezug auf die kontextspezifischen Metadaten des verwendeten Lernmaterials im Benutzerprofil abgelegt und lassen sich somit kursübergreifend nutzen.

- ▶ Wie bei AICC gibt es ein Rostering. MTS verfügt über eine Schülerverwaltung, und die Kurseinteilung erfolgt über die Auswahl eines Lernmaterials auf der Wissensmodellierungsebene, mit dem sich das gewünschte Lernziel erreichen läßt. MTS erlaubt neben der Zuweisung eines Kurses durch einen Lehrer auch on-demand Lernszenarios, in denen der Schüler selbst sein Lernziel festlegt und auch selbst das zu verwendende Lernmaterial auswählt, z.B. mit Hilfe der Materialauswahl.
- ▶ Die Aktionen des Schülers werden von MTS mitprotokolliert und stehen im Benutzerprofil zur Analyse bereit (data collection and management).
- ▶ Die Informationen aus dem Benutzerprofil lassen sich auch zur Überwachung und Steuerung der Schüleraktivitäten (student assignment management) einsetzen.

4.1.3 Evolution des MTS

Die Entwicklung des *Modularen Trainings Systems (MTS)* fand innerhalb mehrerer Projekte statt. Bevor im Detail auf die Konzepte und relevante Realisierungsaspekte eingegangen wird, soll zunächst ein Überblick über die Implementierungen des MTS-Systems in den verschiedenen Projekten gegeben werden. Abbildung 13 zeigt den Verlauf dieser Entwicklungslinie.



Abbildung 13. Entwicklungslinie MTS

DEDICATED

Die erste Realisierung des MTS erfolgte im Rahmen des 3. Förderprogramms DELTA (Development of European Learning through Technical Advance) im Zeitraum von 1992 bis 1994. Das Ziel des Projektes DEDICATED (DEvelopment of a new Dimension in European Computer-Aided Teaching and Education) war die Entwicklung einer verteilten client-server-basierten Systemarchitektur für eine modulare Lernumgebung und deren Erprobung. Da zu diesem Zeitpunkt die Entwicklung des WWW noch in den Anfängen steckte, wurde die Funktionalität zur plattformunabhängigen Darstellung und Referenzierung der unterschiedlichen Materialien selbst implementiert. Dies geschah für die beiden Plattformen Windows und Unix. Das MTS bestand im wesentlichen aus zwei Anwendungen, dem Generic Learning Support Layer (GLSL) und dem Kursinterpreter. Das GLSL war für die Darstellung der Lernobjekte zuständig und realisierte so den Funktionsblock Kursdarstellung. Der Kursinterpreter realisierte die Kurssteuerung. Die Materialablage erfolgte im Dateisystem. Eine Komponente für die Materialauswahl war zwar vorgesehen, konnte im Verlauf des Projekts aber nicht mehr realisiert werden. Benutzerprofile wurden nicht unterstützt¹, und daher existierte auch keine Auswertungskomponente. Es gab auch keinerlei Unterstützung für die Administration und Materialerstellung².

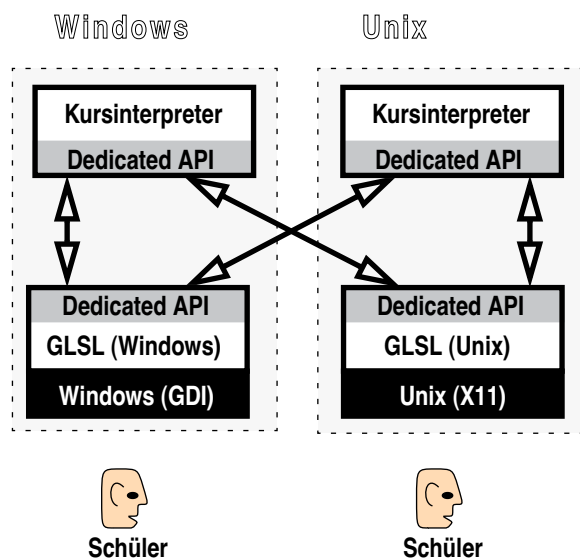


Abbildung 14. MTS (DEDICATED)

Die beiden Komponenten, GLSL und Kursinterpreter, kommunizierten über ein proprietäres Protokoll (DEDICATED API) miteinander, das die plattformunabhängige Ansprache der Multimediafunktionalität der verwendeten Hardware erlaubte. Für jede der beiden Plattformen Unix und Windows gab es eine eigenständige Implementierung des GLSL, die das DEDICATED API für die jeweilige Plattform realisierte. Der Kursinterpreter enthielt keinerlei plattformspezifischen Code, und daher genügt es, ihn für die jeweilige Plattform zu übersetzen. Da der GLSL die Interaktion mit dem Schüler realisierte, mußte dieser auf dem Clientrechner installiert sein. Der Kursinterpreter konnte dagegen an beliebiger Stelle im Netzwerk installiert sein. Für weitere Details zu DEDICATED sei auf folgende Quellen verwiesen: [72], [73] und auch [74].

1. Erst gegen Projektende wurde ein Mechanismus integriert, mit dessen Hilfe ein Autor benutzerspezifische Daten ablegen und auch wieder abfragen konnte.

2. Es gab zwar einen LMO Editor, aber damit konnten nicht Lernobjekte erstellt oder geändert werden, sondern er diente nur zur Erstellung von Materialbeschreibungen.

IDEALS

Die Erfahrungen und Konzepte aus DEDICATED bildeten die Grundlagen des Nachfolgeprojekts IDEALS (Integration of DEDICATED for Advanced Training Linked to Small and Medium Enterprises and Institutes of Higher Education). Während die Entwicklung in DEDICATED noch auf eigenentwickelter, proprietärer Client-Server-Technologie basierte, war in IDEALS die Integration in das WWW und die Nutzung von existierenden Standards wichtiges Entwurfskriterium. Daher wurde die IDEALS Software als eine Erweiterung eines WWW-Servers konzipiert und realisiert. Das IDEALS MTS wurde als ein eigenständiger Serverprozeß realisiert, der eng an einen WWW-Server gekoppelt ist. Abbildung 15 zeigt die Systemarchitektur. Einen Beispielkurs zeigt Abbildung 40 auf Seite 86.

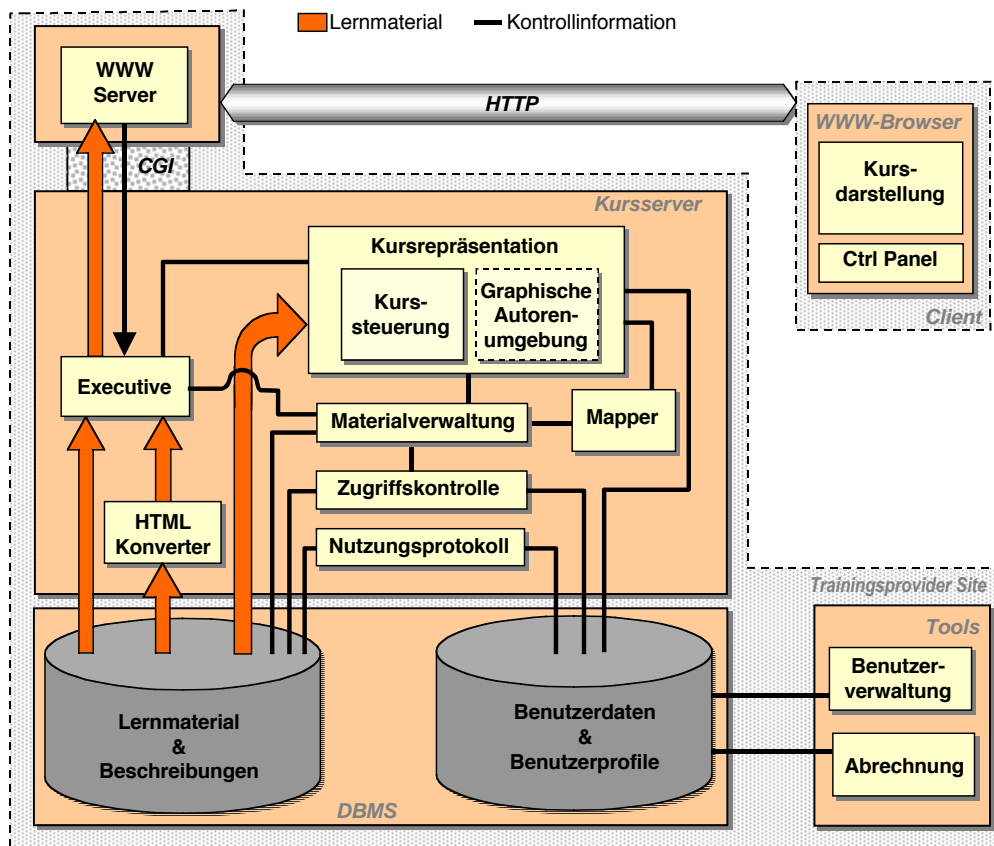


Abbildung 15. Systemarchitektur IDEALS-MTS

Ein Schüler benötigt keine proprietäre Software, sondern er kann mit einem WWW-Browser auf die Kurse zugreifen. Die Aufgabe des WWW-Browsers ist in erster Linie die Darstellung des Kursinhalts (Lernmaterial), realisiert aber auch einen Teil der Kursablaufsteuerung (Control Panel), der direkt mit dem Schüler interagiert. Die Kommunikation zwischen Schüler und Kursserver erfolgt über das HTTP. Die eigentliche Erweiterung für IDEALS-MTS ist der Kursserver. Dieser ist über die CGI-Schnittstelle an den WWW-Server angebunden. Alle Anfragen an den Kursserver werden als normale HTTP-Requests realisiert. Die Ablage des Lernmaterials und der Metadaten (Lernmaterialbeschreibungen, Benutzerdaten und Benutzerprofile) erfolgt in einem Datenbankmanagementsystem (DBMS). Aufbauend auf den Daten in der Datenbank realisiert der Kursserver alle lernspezifischen Dienste. Die Executive-Komponente dient als zentrale Anlauf- und Verteilerstelle für Anfragen. Bei Materialanfragen greift die Executive-Komponente über die Materialverwaltung auf das in der Datenbank abgelegte Lernmaterial zu und macht die Daten verfügbar für den WWW-Browser des Schülers. Dazu legt sie die Daten temporär in einem Bereich des WWW-Servers ab, der als Cache für Lernmaterial verwendet wird und übergibt dem WWW-Browser des Schülers eine URL, über die dieser auf die temporären Daten zugreifen kann. Dabei stellen spezialisierte Serverkomponenten sicher, daß ein Schüler nur auf solches Lernmaterial zugreifen darf (Zugriffskontrolle), für das ihm Zugriffsrechte eingeräumt wurden, und daß jeder Zugriff auch protokolliert wird (Nutzungsprotokoll)¹. Die Kursrepräsentation ist die zentrale Komponente für die Laufzeitumgebung, denn sie hält und verwaltet den jeweiligen Kurszustand für einen bestimmten Kurs. Für jede

1. Die Daten aus dem Nutzungsprotokoll stellen die Rohdaten für die spätere Abrechnung dar.

Lernsitzung gibt es eine eigene Instanz dieser Komponente. Die Executive-Komponente verwaltet alle diese Instanzen und leitet alle Kursanfragen eines Schüler an die für den Kurs zuständige Instanz weiter. Die Kurssteuerung realisiert dabei die Kernfunktionalität (Darstellung der Kurstruktur und Kursablaufsteuerung), die ein Schüler zum Lernen benötigt. Die graphische Autorenumgebung stellt zusätzliche Funktionalität bereit, die ein Autor benötigt. Die Mapper-Komponente realisiert die inhaltsbasierte Ansprache von Lernmaterial. Für die Verwaltung der Benutzerdaten und die Realisierung der Abrechnung gibt es eigenständige Tools, losgelöst von dem eigentlichen Kurslaufzeitsystem.

Platinum

Auch nach Abschluß des IDEALS-Projekts wurde das MTS-System weitergepflegt und in einigen Bereichen auch weiterentwickelt. Diese Weiterentwicklungen betrafen die Anbindung an die Datenbank, das Serverframework, die Authoring- und die Mapping-Komponente und vor allem die Administrationsumgebung des MTS. Abgesehen von einigen Verbesserungen in der Mapperkomponente, die aber transparent für die Kurssteuerung sind, ist das eigentliche Kurslaufzeitsystem in Platinum-MTS identisch mit dem des IDEALS-MTS. Daher wird im Rahmen dieser Arbeit auch nicht weiter auf Platinum-MTS eingegangen. Die Artikel [90] [91] beschäftigen sich mit den Weiterentwicklungen im Rahmen von Platinum.

4.2 Lernmaterialkategorien

In diesem Abschnitt wird im Detail darauf eingegangen, welche Kategorien von Lernmaterial MTS unterscheidet und wie sich damit das Konzept vom modularen Lernmaterial umsetzen läßt.

Definition 7: Unter **Lernmaterial** versteht man all die elementaren Bausteine, aus denen sich ein Kurs zusammensetzt. In MTS gibt es für jede der drei Lernmaterialebenen eine eigene Kategorie von Lernmaterial, das der speziellen Sichtweise der jeweiligen Ebene entspricht. MTS-Lernmaterial ist modular und enthält neben den eigentlichen Nutzdaten auch die zugehörigen Metadaten.

4.2.1 Die drei Lernmaterialebenen in MTS

In MTS gibt es für jede der in Abschnitt 2.4.1 vorgestellten Lernmaterialebenen einen eigenen Typ von Lernmaterial. Abbildung 16 zeigt die verschiedenen Arten von Lernmaterial in MTS und deren Zuordnung zu diesen Ebenen.

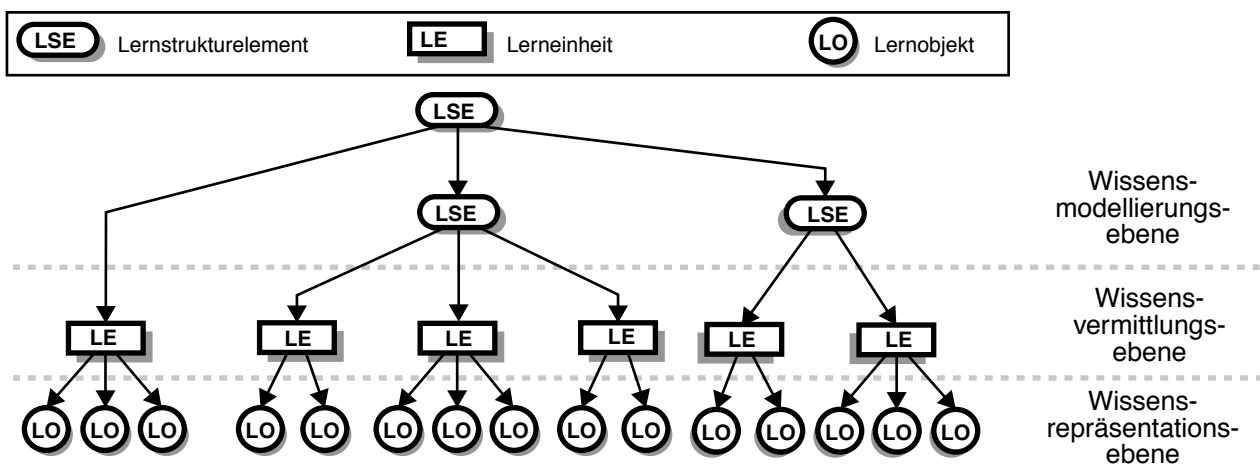


Abbildung 16. Lernmaterialkategorien und Expertisebene

Lernobjekte

Auf der untersten Ebene, der Wissensrepräsentationsebene, findet man die Lernobjekte. Diese sind die atomaren Bausteine und sind verantwortlich für die Realisierung der Darstellung und des Verhaltens der einzelnen Lerninhalte. Lernobjekte lassen sich unterteilen in solche, die Inhalte vermitteln, und solche, die der Kurssteuerung dienen (Realisierung der Benutzungsschnittstelle).

Definition 8: Ein **Lernobjekt** ist eine Gruppe von logisch zusammengehörigen multimedialen Elementen, die zusammen die komplette Darstellung eines bestimmten Inhalts oder eine bestimmte Funktionalität der Benutzungsschnittstelle realisieren.

Lernobjekte entsprechen zwar oft einzelnen Multimediaformaten, aber dies ist nicht notwendigerweise der Fall. Was ein Lernobjekt ist, ist keine Frage des Datentyps (Multimediaformat), sondern eine Frage der logischen Zusammengehörigkeit und der Abgeschlossenheit. Ein Text, der für sich genommen einen bestimmten

Sachverhalt vollständig erläutert, ist auch ein Lernobjekt. Bezieht sich der Text jedoch auf ein Bild, welches zum Verständnis des Sachverhalts unentbehrlich ist, dann ist erst die Kombination aus Text und Bild ein Lernobjekt, der Text allein aber nicht¹.

Lerneinheiten

Die Wissensvermittlungsebene bilden die Lerneinheiten, die die Realisierung eines Lernschrittes beschreiben:

Definition 9: Eine **Lerneinheit** beschreibt, wie sich eine grundlegende Funktionalität der Wissensvermittlung für einen bestimmten Lernschritt realisieren läßt. Dazu spezifiziert die Lerneinheit die Anordnung (Layout) und das Zusammenspiel (Interaktion) der in der Lerneinheit verwendeten elementaren Lernmaterialien (Lernobjekte) untereinander und mit dem Schüler.

Diese *Lernfunktionalitäten* umfassen all die Funktionalitäten, die sich mit den unterschiedlichen Aspekten der Wissensvermittlung befassen wie Präsentation, Exploration oder Test. In der Praxis wird man nur selten Lerneinheiten finden, die eine solche Lernfunktionalität in Reinform realisiert. Insbesondere die Grenzen zwischen Exploration, Übung und Test sind fließend. In vielen Fällen kann dasselbe Material für mehr als eine der Funktionalitäten genutzt werden; so läßt sich Material zum Testen meist auch zur Exploration nutzen und umgekehrt. Diese Mehrfachnutzung von Material ist durchaus wünschenswert.

Technisch gesehen beschreiben Lerneinheiten die örtliche und zeitliche Anordnung von multimedialen Elementen, sowie deren Interaktion untereinander und mit dem Anwender. Mit der Kombination HTML und JavaScript hat sich hierfür ein plattformübergreifender, weltweit akzeptierter Standard etabliert. Es ist daher naheliegend, diesen auch für die Darstellung von Lerneinheiten zu verwenden.

Lernstrukturelemente

Die Lernstrukturelemente realisieren die oberste Lernmaterialebene, die Wissensmodellierungsebene. Sie organisieren die Lernschritte, mit denen sich ein Lernziel erreichen läßt. Einzelne Lernschritte werden dabei durch Lerneinheiten repräsentiert. Dem in Abschnitt 2.4.1 dargelegten Bedarf nach hierarchischer Gliederung und Kapselung der Lernschritte nach Inhalt und Detaillierungsgrad wird dadurch Rechnung getragen, daß in der Ablaufbeschreibung neben Lerneinheiten auch Lernstrukturelemente, die untergeordnete Lernziele repräsentieren, vorkommen können. Die Beschreibung des Ablaufs, der zu einem Lernziel führt, erfolgt somit rekursiv.

Definition 10: Ein **Lernstrukturelement** beschreibt eine Abfolge von Lerneinheiten und Lernstrukturelementen, mit der sich ein bestimmtes Lernziel vermitteln läßt. Durch Lernstrukturelemente, die in anderen Lernstrukturelementen verwendet werden, lassen sich untergeordnete Lernziele repräsentieren.

Die Beschreibung, welche Lerneinheiten und untergeordnete Lernstrukturelemente von einem Lernstrukturelement verwendet werden, geschieht mit Hilfe von Referenzen. Auf diese wird im Detail in Abschnitt „4.4 Referenzen“ ab Seite 56 eingegangen. Die Beschreibung eines Kursverlauf ist vergleichbar mit der Beschreibung eines Algorithmus in einer sequentiellen Programmiersprache. So benötigt man Ablaufkonstrukte zur Beschreibung von Sequenzen, Alternativen, Iterationen und Ausdrücke für Bedingungen und Berechnungen.

4.2.2 Basic Building Block

Soweit unterscheidet sich das Lernmaterialkonzept von MTS noch nicht von den in Absatz „3.3 Stand der Technik“ aufgeführten anderen Ansätzen. Allen gemeinsam ist die Trennung von Struktur und Inhalt, da sich nur so implizite Abhängigkeiten zwischen Lernmaterial vermeiden lassen, die zu monolithischen Kursen führen würden. Alle Ansätze unterscheiden zwischen drei unterschiedlichen Lernmaterialebenen, die den in Abschnitt 2.4.1 vorgestellten entsprechen. Tabelle 4 zeigt die Entsprechungen in den Lernmaterialkategorien der unterschiedlichen Ansätze.

Ein grundlegender Unterschied zwischen MTS und den Ansätzen von AICC, IMS, IEEE und ADL zeigt sich jedoch in der Vorgehensweise, wie Lernmaterial zur Kurszusammenstellung genutzt wird: Bei AICC, IMS, IEEE und ADL stehen ‚individuelle‘ Kurse im Vordergrund des Interesses. In diesem Zusammenhang besagt individuell nicht, daß ein Kurs an die persönlichen (individuellen) Bedürfnisse eines Schülers angepaßt ist, sondern es soll zum Ausdruck gebracht werden, daß jeder Kurs als eine eigenständige und abgeschlossene Einheit behandelt wird. Bei der Kurszusammenstellung wird alles Lernmaterial, das für einen Kurs benötigt wird, zu einem Package (Manifest) zusammengestellt, das dann als eine Einheit an einen Schüler ausgeliefert

1. Wenn das Bild auch für sich allein aussagekräftig ist, dann kann auch das Bild allein bereits ein Lernobjekt sein.

Ebene	MTS	AICC	SCORM	White paper Ostyn
Wissensmodellierungsebene	Lernstrukturelemente	block (group of lessons or blocks)	Content Aggregation	Assignment
Wissensvermittlungsebene	Lerneinheit	assignable unit (lesson)	Sharable Content Object (SCO)	Learning object
Wissensrepräsentationsebene	Lernobjekt		Assets	Assets

Tabelle 4. Lernmaterialkategorien in den verschiedenen Ansätzen

werden kann. Identisches Lernmaterial kann zwar in unterschiedlichen Kursen verwendet werden, wird dann aber auch als unterschiedliche Instanzen behandelt, d.h. die Information, daß der Schüler bestimmtes Lernmaterial bereits in einem anderen Kurs bearbeitet hat, ist nicht vorhanden. Ebenso wenig kann auf detaillierte Benutzerprofilinformation aus anderen Kursen zugegriffen werden.

Das MTS-Konzept sieht keine individuellen Kurse vor, die als ein Paket an einen Schüler ausgeliefert werden, sondern der Schüler hat Zugang zu einem Pool gekapselter Mikrokurse, von denen jeder über einen global eindeutigen Namen ansprechbar ist. Ein derartiger Mikrokurs wird im IDEALS *Basic Building Block* genannt und ist zuständig für die vollständige Vermittlung einer klar begrenzten Menge an Expertise auf einer klar definierten Abstraktionsebene. Zur Vermittlung von Expertise auf tieferer Abstraktionsebene verwenden (referenzieren) Basic Building Blocks andere weiter spezialisierte Basic Building Blocks (Black-Box-konzept). Es wird allerdings gefordert, daß ein Basic Building Block auch dann noch alle für sein Abstraktionsniveau relevanten Details vermittelt, wenn die Basic Building Blocks auf tieferer Abstraktionsebene weggelassen werden. Da jeder Basic Building Block inhaltlich vollständig und abgeschlossen sein muß, hat jeder Basic Building Block das Potential, als Einstiegsknoten für einen Kurs zu dienen. In MTS gibt es daher nicht die Notwendigkeit, einen Kurs vor Gebrauch erst explizit zusammenstellen zu müssen. Stattdessen entspricht ein Kurs der Traversierung des vom Einstiegsknoten referenzierten Materials. Diese Traversierung zur Kursausführungszeit, insbesondere in Verbindung mit einem dynamischen Referenzierungsmechanismus, eröffnet, was die Anpassung und Aktualisierung von Kursen angeht, eine Reihe von Möglichkeiten, die mit den übrigen beschriebenen anderen Ansätzen nicht oder nur schwer realisierbar sind.

In MTS gibt es keinen besonderen Typ von Lernmaterial für Basic Buildings Blocks. Stattdessen soll dieser Begriff lediglich Autoren als Richtlinie für die richtige Nutzung der existierenden Arten von Lernmaterial dienen. Ein Basic Building Block setzt sich zusammen aus allen drei Kategorien von Lernmaterial. Aus der Forderung nach inhaltlicher Abgeschlossenheit und Vollständigkeit ergibt sich, daß sich ein Basic Building Block durch ein Lernstrukturelement repräsentieren läßt, das die Strukturierung der für dieses Abstraktionsniveau notwendigen Lernschritte festlegt. Aus der Forderung, daß alle Expertise für ein bestimmtes Abstraktionsniveau durch den Basic Building Block vermittelt werden soll, folgt, daß Lernstrukturelemente, die einen Basic Building Block repräsentieren, zumindestens über eine Lerneinheit verfügen. Abbildung 17 stellt dies graphisch dar.

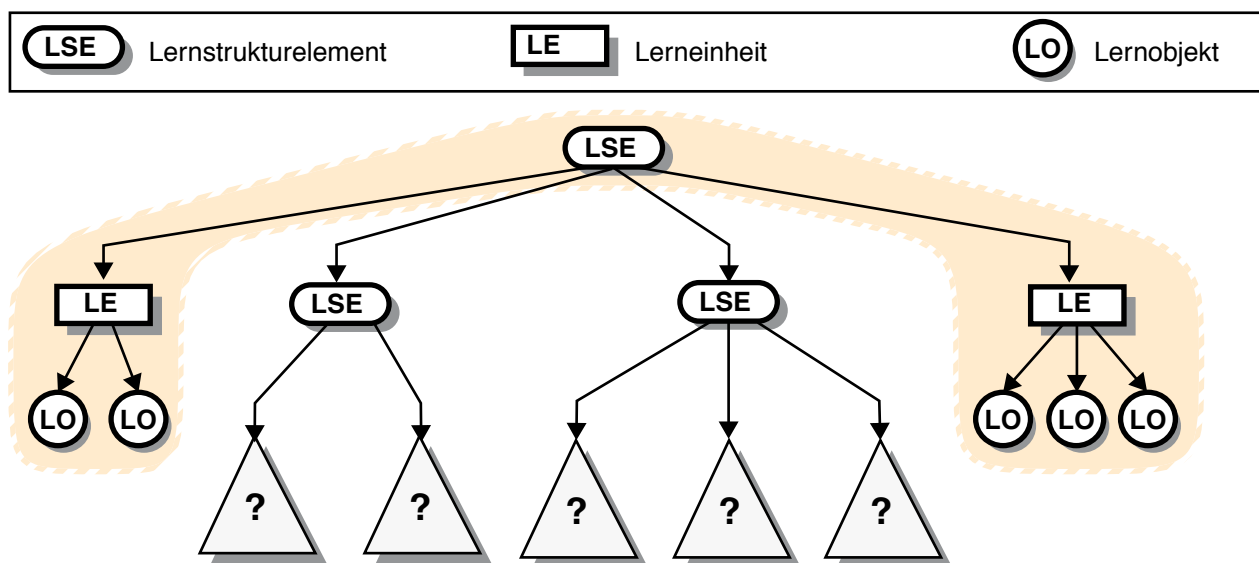


Abbildung 17. Basic Building Block

Definition 11: Ein Lernstrukturelement repräsentiert dann einen **Basic Building Block**, wenn durch die Ausführung dieses Lernstrukturelements einem Schüler auch dann noch alle für ein bestimmtes Abstraktionsniveau relevanten Aspekte vermittelt werden, wenn alle in ihm verwendeten (referenzierten) Lernstrukturelemente weggelassen werden.

Mit anderen Worten, hinter dem Begriff Basic Building Block steht die Forderung nach folgender Vorgehensweise bei der Definition von Lernmaterial:

- ▶ Jede für ein Thema spezifische Expertise wird durch eine Lerneinheit vermittelt.
- ▶ Ein Lernstrukturelement enthält alle Lerneinheiten, die einem bestimmten Abstraktionsniveau zuzuordnen sind und nur solche Lerneinheiten.
- ▶ Inhalte, die einen eigenständigen und in sich wiederum abgeschlossenen Teilbereich des Themas auf niedrigerem Abstraktionsniveau bilden, werden in referenzierten (untergeordneten) Lernstrukturelementen realisiert.

4.2.3 Implementierung in IDEALS

Im folgenden wird beschrieben, wie diese drei Lernmaterialtypen im IDEALS-MTS realisiert werden. Gemeinsam ist allen Arten von Lernmaterial, daß sie in der Datenbank auf einem Kursserver abgelegt werden (siehe Abbildung 15).

Material Objects

Lernobjekte werden in IDEALS als *Material Objects (MO)* bezeichnet und in einem gängigen Standardformat abgelegt und umfassen sowohl die elementaren Multimediaformate (wie z.B. GIF und JPEG) als auch die vom WWW-Browser für die Realisierung einer Benutzungsschnittstelle bereitgestellten Interaktionselemente (wie z.B. Buttons, Message boxes oder Eingabefelder). MOs können durchaus auch komplexe, selbst entwickelte Programmfragmente oder gar eigenständige Anwendungen sein, wie z.B. als Java-Applets realisierte Simulationen oder Microworlds. IDEALS MTS unterstützt nur Material Objects, wenn diese als eine Datei ablegbar sind. Wie sich diese Einschränkung überwinden läßt, wird in Abschnitt „Zusammengesetztes Lernmaterial“ auf Seite 65 erläutert

Learning Function Unit

Die Beschreibung einer Lerneinheit – in IDEALS als Learning Function Unit (LFU) bezeichnet – erfolgte als ein HTML-Dokument. Jede LFU entspricht dabei genau einer HTML-Seite. Um jedoch die MTS-spezifische Ansprache von Lernmaterial zu erlauben (eindeutige Identifikation von Lernmaterial unabhängig von dem Ablageort der Lernmaterialdaten und vor allem Einbettung dynamischer Referenzen) wurde HTML um ein zusätzliches Tag erweitert, das sogenannte *MTS-Tag*. Dieses Tag muß immer dann verwendet werden, wenn in der LFU auf MOs zugegriffen wird. Es ersetzt somit die normalen Referenzen von HTML (HREF). Weitere Details hierzu werden in Abschnitt „4.4 Referenzen“ erläutert. Für die Beschreibung der Interaktionen fiel die Wahl auf die HTML-Erweiterung JavaScript, denn damit lassen sich die Interaktionen in der Lerneinheit selbst definieren, wo sie konzeptuell gesehen auch angeordnet sind. Für die Kombination HTML + JavaScript + eigenes MTS-Tag wurde die Bezeichnung *HTML-I* geprägt. LFUs werden als HTML-I Dokumente in der Datenbank abgelegt. Damit eine LFU in dem WWW-Browser dargestellt werden kann, muß sie beim Herunterladen vom WWW-Server, wie in Abbildung 15 dargestellt, zuerst von HTML-I nach HTML konvertiert werden. Auch für LFUs gibt es im IDEALS MTS die Einschränkung auf eine einzige Datei pro LFU.

Neben den eigentlichen Lernfunktionalitäten (siehe Abschnitt „Lerneinheiten“ auf Seite 43) gibt es jedoch auch noch Funktionalitäten, die nicht direkt zu der Wissensvermittlung beitragen aber andere für die Kurssteuerung relevante Funktionalitäten realisieren. Derartige Funktionalitäten sollen unter dem Begriff *Kurssteuerungsfunktionalitäten* zusammengefaßt werden. Eine solche Funktionalität ist z.B. die Darstellung der Struktur des aktuellen Lernstrukturelements und der gegenwärtigen Position in dem Kurs. Eine andere typische Kurssteuerungsfunktionalität ist die Realisierung einer benutzergesteuerten Auswahl einer von mehreren Alternativen für den weiteren Verlauf des Kurses. Die Erfahrungen aus DEDICATED haben gezeigt, daß Autoren nicht mit generischen Realisierungen solcher Kurssteuerungsfunktionalitäten zufriedenzustellen sind, sondern eigene Realisierungen dieser Funktionalitäten bereitstellen können wollen. Weil für die Realisierung von Kurssteuerungsfunktionalitäten dieselben Sprachmittel benötigt werden wie für die Realisierung von Lernfunktionalitäten, wird in IDEALS MTS HTML-I auch zur Beschreibung von Kurssteuerungsfunktionalitäten verwendet.

Mittels JavaScript kann von einer LFU über ein spezielles Applet auch auf die globale Kursablaufsteuerungskomponente des IDEALS MTS zugegriffen werden. Alle Funktionen hierfür sind Bestandteil des CtrlPanel API. Tabelle 5 listet die Funktionen auf, die von diesem API bereitgestellt werden.

Funktion	Beschreibung
<code>void ContinueCourse()</code>	Beenden der LFU. Diese Funktion veranlaßt die Kursablaufsteuerung, die Präsentation der nächsten LFU zu initiieren.
<code>void SuspendCourse()</code>	Unterbrechen den Kurses. Der aktuelle Kurszustand wird abgespeichert, so daß der Schüler zu einem späteren Zeitpunkt mit der Bearbeitung des Kurses an dieser Stelle fortfahren kann.
<code>void ExitCourse()</code>	Der Kurs wird abgebrochen.
<code>boolean SetRating(double r)</code>	Diese Funktion setzt eine Bewertung für die LFU. Der Wert muß im Bereich [0,1] liegen und wird bei Beendigung der LFU an das MTS übergeben.
<code>void SetExitCode(int exitCode)</code>	Setzen eines LFU-spezifischen Rückgabewerts. Dieser wird bei der Beendigung der LFU an das MTS übergeben und ist dann im übergeordneten Course Node als Statusinformation abfragbar.
<code>int GetExitCode()</code>	Abfragen des aktuellen Rückgabewerts
<code>void SendMail()</code>	Verschicken einer Email an den Administrator der Lernumgebung
<code>void CallTutor()</code>	Verbindungsaufnahme (email) mit einem Tutor

Tabelle 5. CtrlPanel API: Kommunikation LFU mit MTS Kursablaufsteuerung

Vergleicht man diese mit den Möglichkeiten in den Ansätzen von AICC [39], IMS, IEEE, und ADL [59], die weitestgehend identisch sind, so bestehen zunächst keine prinzipiellen Unterschiede, jedoch ist erkennbar, daß bei AICC, IMS, IEEE, und ADL die Implementierung reichhaltiger ist (siehe Tabelle 6). Bei MTS ist keine explizite Initialisierung der LFU-MTS Kommunikation vorgesehen. Die Funktionen bei MTS sind sehr spezifisch, daher liegt es komplett in der Verantwortung des MTS, auf Fehler angemessen zu reagieren. Daher besteht in MTS auch nicht die Notwendigkeit für allgemeine Mechanismen zur Fehlerbehandlung. Während in MTS von einer LFU nur auf den Exit Code und auf die Bewertung für die LFU zugegriffen werden kann, kann in SCORM und den anderen Ansätzen von einem SCO auf ein Reihe von zusätzlichen Informationen über den Schüler, seine Vorlieben, das Lernmaterial und den Kursverlauf zugegriffen werden. Daher verwendet SCORM, anders als MTS keine spezifischen Funktionen (`GetExitCode()` und `SetExitCode()`) zur Abfrage bzw. zum Setzen von Werten, sondern generische Funktionen (`LMSGetValue()` und `LMSSetValue()`), bei denen über einen Parameter angegeben wird, auf welches Element des Datenmodells zugegriffen wird. Als Datenmodell wird dort das in den *CMI Guidelines for Interoperability* des AICC spezifizierte Datenmodell übernommen.

Funktion	Beschreibung
<code>LMSInitialize()</code>	Initialisierung der SCO to LMS ^a Kommunikation. Beinhaltet nicht die Initialisierung des SCOs.
<code>LMSFinish()</code>	Beendet SCO to LMS Kommunikation. Dabei werden Werte, die vom SCO an das LMS übergeben wurden, permanent übernommen.
<code>LMSGetLastError()</code>	Abfragen des Fehlercodes für den letzten Fehler.
<code>LMSGetErrorString()</code>	Ermitteln einer textuellen Beschreibung für einen Fehlercode.
<code>LMSGetDiagnostics()</code>	Abfragen zusätzlicher, herstellerepezifischer Fehlerinformation.
<code>LMSGetValue()</code>	Abfragen eines Werts aus dem Datenmodell.
<code>LMSSetValue()</code>	Setzen eines Werts aus dem Datenmodell.
<code>LMSCommitValue()</code>	Gecachte Werte im Datenmodell werden permanent übernommen.

Tabelle 6. SCORM: SCO to LMS Communication API

a. LMS steht für Learning Management System

Course Nodes

In IDEALS werden Lernstrukturelemente als Course Nodes bezeichnet. Heute würde es sich anbieten, XML als Ablageformat für Lernstrukturelemente zu verwenden. Da zu dem Zeitpunkt, als die Datenformate für IDE-

ALS-MTS festgelegt wurden, XML noch nicht verfügbar war und auch kein anderes, geeignetes Format für die Beschreibung der Lernstrukturelemente, wurde ein selbstentwickeltes Format verwendet. Da Course Nodes aber im MTS-Server selbst verarbeitet werden und nicht im WWW-Browser, stellt dies aber kein Problem dar¹. Course Nodes werden als eine Art von Ablaufplan abgelegt. Dieser Ablaufplan setzt sich zusammen aus einem Satz fest vorgegebener Elemente zur Beschreibung von Referenzen, Sequenzen, Alternativen, Iterationen und Ausdrücken. Als Bezeichnung für diese Sprache wurde aus DEDICATED der Begriff Course Description Language (CDL) übernommen, da sie im wesentlichen dieselben Möglichkeiten zur Kursbeschreibung bot wie die in DEDICATED verwendete Beschreibungssprache.

Bereits in DEDICATED wurde deutlich, daß die Autoren keine textuellen Programmierschnittstellen für die Erstellung von Course Nodes akzeptieren. Daher wurde in IDEALS von Beginn an Wert gelegt auf ein vollständig in das System integriertes graphisches Autorenwerkzeug (siehe Abbildung 18). Damit läßt sich die Beschreibung eines Course Node graphisch erstellen. Durch diese graphische Benutzungsschnittstelle und den bewußt gering gehaltenen Umfang der Sprachmittel sollte die einfache und effiziente Erstellung von Course Nodes auch solchen Autoren ermöglicht werden, die über keinerlei Programmierhintergrund verfügen und dem Gebrauch einer textorientierten Art des Programmierens meist auch ablehnend gegenüber stehen. Da vorgesehen war, daß Course Nodes in der Regel immer mit dem Autorenwerkzeug erstellt und bearbeitet werden, ist für einen Autor das Ablageformat der Course Nodes zunächst nicht von Interesse. Statt dessen ist die einfache maschinelle Verarbeitbarkeit ein wichtiges Kriterium. Um dem erfahrenen Autor die Möglichkeit offen zu lassen, Course Nodes auch mit einem Texteditor bearbeiten zu können wurde darauf verzichtet ein binäres Ablageformat einzuführen, und es wurde eine textuelle Beschreibung verwendet, die sich an der Syntax von HTML orientiert.

Als Programmiersprache gesehen gehört CDL zu den Hochsprachen (PASCAL, BASIC, PERL, usw.), denn sie verfügt über alle grundlegenden Konstrukte, die man für die sequentielle Programmierung benötigt². Vergleicht man CDL aber mit anderen Beschreibungssprachen für Lernmaterial wie etwa [62] oder [43], so erkennt man, daß dort die kleinsten Elemente für die Beschreibung von Kursstrukturen Elemente sind, die bereits pädagogische Absichten und/oder Vorgehensweisen repräsentieren. So gesehen handelt es sich bei CDL aus Sicht des Educational Modellings eher um eine Sprache auf niedrigem Niveau (Assemblersprache). Um zu verstehen, wieso für MTS dieser Ansatz gewählt wurde, soll zunächst einmal auf den zweiten Ansatz eingegangen werden.

In seinem White Paper [43] stellt Ostyn eine Möglichkeit vor, pädagogische Vorgehensweisen durch sogenannte 'Strategien' darzustellen. Eine Strategie beschreibt, wie sich eine bestimmte Vorgehensweise, unabhängig vom einem konkreten Inhalt, umsetzen läßt. Dazu identifiziert sie über Platzhalter die Elemente einer Vorgehensweise und beschreibt, welche Rollen die einzelnen Elemente übernehmen und wie sie auszuführen sind. Nach Ostyn ist ein Kurs eine Zusammenstellung von Aktivitäten, die ein Schüler auszuführen hat; sogenannten *Assignments*. Assignments sind hierarchisch aufgebaut, und ein Assignment besteht im wesentlichen aus einer Liste von ausführbaren Einheiten (Learning Objects) oder Unterassignments. Ostyn schlägt vor, daß einem Assignment unabhängig von der Liste der verwendeten Learning Objects und Assignments eine Strategie zugeordnet werden kann. Wird einem Assignment keine Strategie zugeordnet, dann übernimmt es die Strategie seines übergeordneten Assignments. Dieser Vorschlag setzt die Trennung von Struktur und Inhalt sehr konsequent um. Durch die Definition der Learning Objects und der Assignments wird der Inhalt

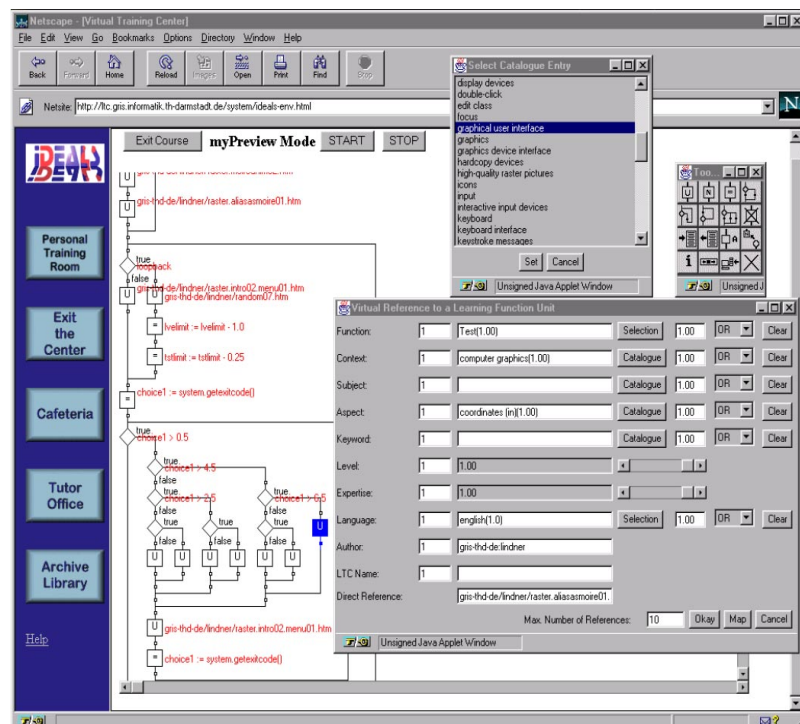


Abbildung 18. Autorenwerkzeug für Course Nodes

1. Der eigentliche Implementierungsaufwand liegt in der Bereitstellung der Funktionalität und nicht in dem Ablageformat.

2. Die Referenzierung eines anderen Lernstrukturelements oder einer Lerneinheit entspricht dem Aufruf von Unterprogrammen.

festgelegt und durch die Auswahl der Strategie die Struktur. Durch Auswahl einer anderen Strategie läßt sich die Struktur eines Assignments jederzeit nachträglich ändern. Teilstrukturen, denen explizit keine Strategie zugeordnet sind, lassen sich problemlos in andere Kurse übernehmen. Dabei passen sie sich sogar automatisch an die im Kurs verwendete Strategie an. Die Zuordnung der Assignments und Learning Objects zu den Platzhaltern in der Strategie geschieht über deren Metadaten, die die Information enthalten, welche Rollen Lernmaterialien übernehmen können. Daher kann die Zuordnung auch automatisch vorgenommen werden. Der Vorteil bei diesem Ansatz ist, daß die Beschreibung eines Kurses (Assignments) direkt die pädagogisch-didaktischen Absichten eines Autors wiedergibt. Ein Autor muß nur festlegen, welche Strategie er wünscht, er muß sich nicht mit der Umsetzung der Strategie befassen; dies übernimmt eine generische Implementierung der Strategie.

Dieser Ansatz setzt eine einheitliche Definition von Rollen voraus, die den Bedürfnissen aller möglichen Strategien gerecht wird. Dies ließe sich noch durch eine Standardisierung handhaben. Wirklich problematisch ist, daß der Autor bei diesem Ansatz auf die pädagogischen Vorgehensweisen beschränkt ist, die als vorgefertigte Strategien zur Verfügung stehen. Will man ein größeres Spektrum von Vorgehensweisen unterstützen, dann muß man auch eine Vielzahl von Strategien bereitstellen. Vor allem muß man sich in einem großen Nutzerkreis darauf einigen, welche Strategien unterstützt werden sollen.

Wegen der angestrebten Neutralität hinsichtlich der mit MTS realisierbaren Vermittlungsstrategien und didaktischen Vorgehensweisen wurde in MTS bewußt auf die Verwendung von Beschreibungselementen verzichtet, die bereits pädagogische oder didaktische Aspekte beinhalten. Statt dessen werden nur die elementaren Beschreibungselemente bereitgestellt mit denen sich die Vermittlungsstrategien realisieren lassen. So läßt sich mit MTS jede beliebige Vermittlungsstrategie und/oder Vorgehensweise realisieren, aber die Beschreibung erfolgt auf niedrigerem Abstraktionsniveau und der Autor muß seine Konzepte auf diese Grundelemente zurückführen.

4.2.4 Analyse der Implementierung und Verbesserungsmöglichkeiten

Rückblickend kann gesagt werden, daß die Entscheidung, das WWW als Darstellungsplattform für modulares Lernmaterial zu verwenden, sich bewährt hat. Die enorme Ersparnis an Implementierungsaufwand im Bereich der Lerneinheiten und vor allem der Lernobjekte, wog bei weitem den Wegfall von lernspezifischen Funktionalitäten¹ auf, wie sie mit einer eigenständigen Implementierung realisierbar gewesen wären. Allerdings gibt es auch Aspekte, die verbesserungsfähig sind:

Unterstützte Datenformate

Durch die Erweiterungsmöglichkeiten, die das WWW bietet, läßt sich im Prinzip nachträglich die Unterstützung für zusätzliche Datenformate und Dienste realisieren. Obwohl mittlerweile WWW-Browser für nahezu jede Plattform verfügbar sind, hat dies jedoch nicht zur Folge, daß jedes Multimediaformat auch auf jeder Plattform verfügbar ist. Dies liegt daran, daß ein WWW-Browser selbst nur relativ wenige Multimediaformate (im wesentlichen HTML, ASCII-Text, GIF, PNG, JPEG, XBM) direkt darstellen kann. Für die Darstellung aller anderen Formate verläßt sich der WWW-Browser auf Erweiterungen (Helper Applications und Plugins). Damit läßt sich prinzipiell zwar jedes beliebige Multimediaformat bzw. jeder sonstige Dienst auf jeder Plattform realisieren, aber für die praktischen Anwendung ist jedoch auch die Frage von Bedeutung, von welchen der existierenden Erweiterungen man annehmen kann, daß die Mehrzahl der Schüler sie verwenden. Ein Trainingsprovider/Autor muß daher einen Kompromiß finden zwischen dem, was er auf der Clientseite voraussetzt, und dem Bestreben nach einem möglichst großen Spektrum, was die unterstützten Browser und Plattformen angeht. Optimierte er sein Angebot auf eine bestimmte Plattform oder einen bestimmten Browser, dann kann er die existierenden Erweiterungen voll ausnutzen, sein Angebot ist dann aber auch nur für Nutzer verfügbar, die diese Plattform bzw. diesen Browser einsetzen. Will er dagegen ein möglichst breites Spektrum unterstützen, dann muß er sich auf solche Formate und Dienste beschränken, für die auf allen Plattformen entsprechende Erweiterungen verfügbar sind. Das kann im Extremfall dazu führen, daß ganz auf client-seitige Erweiterungen verzichtet wird.

Um einen Eindruck zu bekommen, wie es in der Praxis um die Cross-Plattform-Verfügbarkeit von Multimediaformaten bestellt ist, soll die Situation für den Netscape-WWW-Browser betrachtet werden. Der Netscape-Browser wurde ausgewählt weil er im Gegensatz zum Internet-Explorer, der nur für die Windows- und Macintosh-Plattform verfügbar ist, neben diesen beiden Plattformen auch noch für eine Reihe weiterer Plattformen verfügbar ist. Laut der Online-Dokumentation von Netscape existierten Ende Januar 2002 159 Plugins für den Netscape Browser. Abbildung 19 zeigt, für welche Plattformen² diese verfügbar waren.

1. So unterstützte DEDICATED abstrakte MO-Klassen und materialübergreifende, abstrakte Hotzones. Für Hotzones gibt es mit dem Anchor Tag bzw. den Image Maps in HTML funktionell gleichwertige Ersatzmechanismen, wenn auch auf niedrigerer Abstraktionsebene.

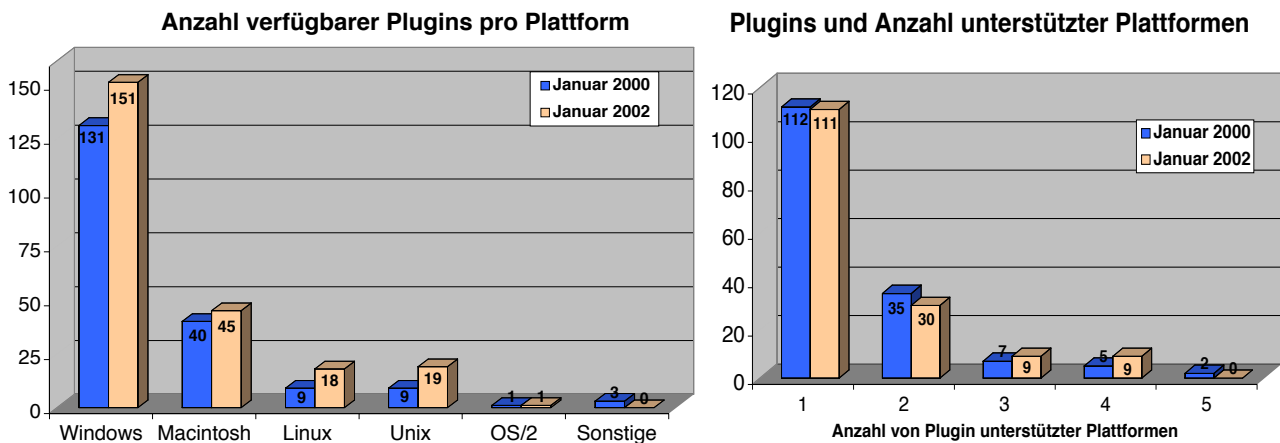


Abbildung 19. Verfügbarkeit von Netscape-Plugins (Stand Januar 2002)

Man erkennt, daß nahezu 70% aller Plugins nur für eine Plattform verfügbar sind und nur circa 11% der Plugins für mehr als zwei Plattformen. Diese Daten zeichnen ein eher düsteres Bild, was die Cross-Plattform-Verfügbarkeit von Plugins betrifft. Allerdings wird das durch die Tatsache entschärft, daß unterschiedliche Plugins durchaus die gleichen Mediaformate unterstützen können und ein Plugin auch mehrere Formate unterstützen kann. So gilt dann auch für den praktischen Betrieb, daß, wenn man sich auf die gebräuchlichsten Plattformen für Arbeitsplatzrechner (Windows, MacOS, Linux, Unix) beschränkt, eine ausreichende Auswahl von Plugins und Helper Applications existieren, so daß für die wichtigsten Mediakategorien (Pixelbilder, Audiodaten, Videodaten, 3D-Daten) zumindest ein Format existiert, das auf allen Plattformen dargestellt werden kann. Es war lange Zeit ein Defizit, daß es keine geeigneten Formate für die Darstellung von Formeln und Vektorzeichnungen gab. Das führte zu der unbefriedigenden Lösung, daß Formeln und Zeichnungen, die als Vektordaten vorliegen, in Pixelbilder umgewandelt wurden, um sie als Lernmaterial verwenden zu können. Mittlerweile etablieren sich auch hierfür Lösungen. Für Vektordaten kristallisieren sich mit Macromedia Flash, SVG [50] und WebCGM [60] mögliche Kandidaten für plattformübergreifende Standardformate heraus. Für die Darstellung von Formeln in HTML existieren zwar bereits unterschiedliche Ansätze, die vielversprechendste Entwicklung in dieser Richtung stellt dabei aber sicherlich MathML [61] dar. Ein geradezu verblüffendes Defizit von HTML ist die fehlende Möglichkeit, eine HTML-Datei in eine andere einzubetten, so wie etwa ein Bild eingebettet werden kann. Es gibt deshalb nicht das Materialobjekt „HTML-Fragment“. Dies führt nach wie vor dazu, daß bei klarer Trennung von Wissensrepräsentationsebene und Wissensvermittlungsebene gerade Text mit vielen Formatabstrichen (Lernobjekt) nur über JavaScript in die LFU eingebunden werden kann.

Während sich das Problem der verwendeten Browser und Browser-Erweiterungen durch organisatorische Maßnahmen in den Griff bekommen läßt, gibt es noch ein weiteres Problem mit Lernobjekten, bei dem dies nicht der Fall ist. Dieses Problem ergibt sich daraus, daß in IDEALS sowohl die Metadaten als auch die Materialdaten für Lernobjekte in einer Datenbank abgelegt sind (siehe Abbildung 15). Das Problem sind dabei nicht die Metadaten sondern die Materialdaten. Legt man sowohl die Metadaten als auch die Materialdaten in der Datenbank ab, dann läßt sich zwar die Konsistenz der Materialdaten und der beschreibenden Information leicht sicherstellen, aber dafür wird der Zugriff auf das Lernmaterial komplizierter. So kann es nicht direkt über den WWW-Server bereitgestellt werden, sondern der Kursserver muß es zuerst aus der Datenbank lesen. Auch die Pflege von Lernmaterial wird komplizierter, denn für jede Änderung muß das Lernmaterial zuerst aus der Datenbank gelesen und nach der Änderung wieder in der Datenbank abgelegt werden. Das wichtigste Argument gegen die Ablage von Lernmaterial in einer Datenbank ist jedoch, daß es Lernmaterial gibt, das nicht in einer Datenbank ablegbar ist, so zum Beispiel:

- ▶ Lernmaterial für eine Simulation läßt sich nur bis zu einer gewissen Komplexität in JavaScript oder als Java-applet realisieren und in der Datenbank ablegen. Ab einer gewissen Komplexität oder wenn für die Simulation spezielle Ressourcen notwendig sind, bedarf es eines dedizierten Servers für das Simulationssystem.
- ▶ Streamingformate, wie Quicktime oder RealAudio, da diese spezielle Serversoftware benötigen. In einer WWW-basierten Umgebung ist die Unterstützung von Streamingformaten von großer Bedeutung, da sie eine signifikante Verbesserung der Darstellung von Audio und Video zu Folge hat.

2. Eigentlich müßte genau genommen von Plattformfamilien gesprochen werden, weil einige der Plattformen in der Wirklichkeit in verschiedene untereinander inkompatible Dialekte zerfallen (z.B. Windows in Windows 3.x (16 bit), Windows 95, Windows 98 und Windows NT oder Unix in SunOS, AIX, HP-UX, Irix, ...). Für diese Arbeit ist die gewählte Unterteilung jedoch ausreichend.

- ▶ Absolut unmöglich ist es, Lernmaterial mit Echtzeitcharakter in einer Datenbank abzulegen, z.B. Web-Cams, aktuelle Wetterdaten oder Börsenwerte. In diese Kategorie fallen auch virtuelle Laboratorien, die dem Schüler Zugriff auf real-existierende Laborgeräte und Versuchsaufbauten erlauben (siehe Abschnitt „Implementierung von Lernressourcen“ auf Seite 8) und ebenso Newsgroups oder Chat-rooms.
- ▶ Auch Lernmaterial, das Zugang zu menschlichen Ressourcen realisiert, wie etwa eine Video- oder Audio-konferenz mit einem Tutor, läßt sich nicht allein mit einer Datenbank realisieren.

Bei einem WWW-basierten Lernsystem sollte eigentlich alles Material, das in einem WWW-Browser dargestellt werden kann, auch als Lernmaterial verwendbar sein. Das ist jedoch nicht möglich, wenn die Materialdaten in einer Datenbank abgelegt werden. In Abschnitt „Realisierung des Materialzugriffs“ auf Seite 67 wird eine Lösung für dieses Problem vorgestellt.

Modularität bei LFUs

Das größte Problem bei den Learning Function Units ist die Einführung eines MTS-spezifischen Tags. Auf die daraus resultierenden Probleme und mögliche Lösungen wird in Abschnitt „4.4 Referenzen“ ausführlich eingegangen, ebenso wie auf das Problem, daß ein Function Unit in IDEALS immer genau einer HTML-I Seite entsprechen muß.

Abgesehen von diesen Problemen hat sich die Verwendung der Kombination aus HTML und JavaScript bewährt, vor allem, weil dafür eine Reihe guter Werkzeuge verfügbar ist. Allerdings stellen weder HTML noch die verfügbaren Werkzeuge sicher, daß bei der Realisierung einer LFU der Modularitätsgedanke nicht verletzt wird. Dies liegt allein in der Hand des Autors: So darf er z.B. Text, der zu vermittelnden Inhalt enthält, nicht, wie in HTML üblich, zu einem integralen Bestandteil des HTML-Codes der Function Unit machen. Stattdessen muß er den Text in eine eigene Datei (MO) auslagern. Text, der nur der Ablaufsteuerung dient, darf er dagegen direkt in dem HTML-Code der Function Unit unterbringen. Aus der Forderung nach der Vollständigkeit von Modulen ergibt sich auch, daß mehrere inhaltlich zusammengehörige Elemente (z.B. ein Bild mit zugehörigem Erläuterungstext) auch zu einem MO zusammengefaßt werden müssen. Eine solche Compound-MO läßt sich realisieren, indem man den HTML-Code für alle diese Elemente in eine eigene Datei (MO) auslagert. Hier gibt es allerdings Grenzen, was mit HTML realisierbar ist.

Als Fazit kann festgehalten werden: Mit HTML (plus JavaScript) lassen sich LFUs gut realisieren, aber nicht jede HTML-Seite ist auch eine gute LFU. Bei einer LFU muß die Modularität gewahrt bleiben, was vom Autor eine gewisse Disziplin erfordert. Der einzige einigermaßen praktikable Weg dies sicherzustellen, ist ein Reviewprozeß mit menschlichen Reviewern.

Erweiterungen der CDL

Betrachtet man die Ebene der Lernstrukturelemente, dann kann festgestellt werden, daß ein Autor mit den von IDEALS bereitgestellten Sprachelementen beliebige Kursabläufe realisieren kann. Verbessern ließe sich in diesem Bereich noch die Behandlung von sich wiederholenden Teilstrukturen und von Ausnahmesituationen. Hat man einen Course Node, in dem bestimmte Teilstrukturen mehrfach vorkommen aber nicht in einen eigenständigen Course Node ausgelagert werden dürfen¹, dann hat der Autor keine andere Wahl als für jedes Auftreten der Teilstruktur eine Kopie der Teilstruktur einzufügen (siehe Abbildung 20). Eleganter wäre es, wenn man die Teilstruktur zu einer Gruppe oder einem Makro zusammenfassen könnte, auf die man dann verweisen würde, anstatt jedesmal eine Kopie einzufügen. Abgesehen davon, daß ein solcher Gruppenmechanismus eine Arbeitserleichterung für den Autor ist, ließe sich durch geeignete Zusammenfassung in Gruppen auch eine bessere Strukturierung und Lesbarkeit der Beschreibung erreichen.

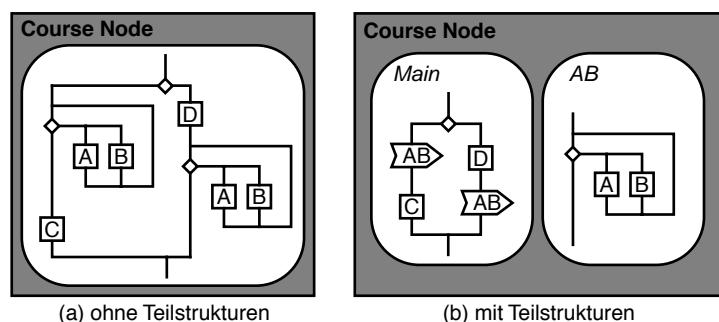


Abbildung 20. Teilstrukturen in Course Nodes

Aufgrund der sequentiellen Natur dieser Sprachmittel läßt sich zwar elegant der reguläre Ablauf spezifizieren, aber die Beschreibung von Ausnahmesituationen, in denen kurzfristig oder dauerhaft von dem regulären Ablauf abgewichen werden soll, ist problematisch. Beispiele für derartige Ausnahmesituationen sind: Der Schüler fordert zusätzliche Hilfe zu einem bestimmten Aspekt an oder bricht den Kurs ab, entweder um ihn

1. weil sie inhaltlich gesehen nicht abgeschlossen sind

endgültig zu verlassen oder um ihn später wieder fortzusetzen. Mit den gegenwärtig von IDEALS bereitgestellten Konstrukten muß der Autor die Ausnahmebehandlung in den normalen Ablaufplan integrieren. Dies bläht den Code jedoch auf und macht ihn unleserlich¹. Eine Ausnahmebehandlung, wie man sie auch in C++[134] oder Java[135] findet, könnte hier Abhilfe schaffen. Aus Sicht eines Programmiers ist die Einführung solch eines Exception-Mechanismus sicherlich wünschenswert. Aber sie steht in einem gewissen Gegensatz zu dem Ziel, eine einfache Programmiersprache zu haben, die auch für Nichtprogrammierer leicht zu verstehen ist. Für die Einführung eines solchen Mechanismus spricht aber, daß es im Ermessen des Autors liegt, ob er davon Gebrauch machen will oder nicht, und daß sich mit diesem Mechanismus einige interessante Features sehr elegant und einfach realisieren ließen:

- ▶ **Bewertung.** Wenn sichergestellt würde, daß das Kurslaufzeitsystem jedesmal eine Bewertungs-Exception auslöst, wenn ein Course Node verlassen wird (egal, ob das reguläre Ende erreicht wurde oder der Schüler die Abarbeitung abbricht oder unterbricht), dann müßte der Code für die Bewertung nur ein einziges Mal implementiert werden, und es wäre sichergestellt, daß er jedesmal ausgeführt wird, wenn der Schüler den Course Node verläßt. Bei einer rein sequentiellen Beschreibung müßte die Bewertung als ein eigenständiger Ablaufschritt in der Beschreibung erscheinen und würde daher auch nur dann ausgeführt werden, wenn der Kursablauf diesen Schritt erreicht.
- ▶ **Online-Hilfe.** Dazu müßte der Autor oder besser noch das MTS-System dem Schüler Elemente in der Benutzungsschnittstelle zur Verfügung stellen, mit denen er Hilfe anfordern kann. Diese Hilfeanforderung löst eine Hilfe-Exception aus und der Autor kann dann im Course Node durch die Definition eines Handlers die entsprechenden Hilfsinhalte bereitstellen. Indem er verschiedene Handler mit unterschiedlichen Gültigkeitsbereichen definiert, kann er die Hilfe sogar kontextspezifisch gestalten.
- ▶ **Inhaltsverzeichnis/freie Navigation.** Bei diesem Vorgehen muß/kann² der Autor Code bereitstellen, der als Reaktion auf eine Navigations-Exception ein Inhaltsverzeichnis des Course Nodes realisiert. Dieser Code könnte eine spezielle LFU sein. Wie ein Autor das Inhaltsverzeichnis realisiert, liegt dabei vollständig in seiner Hand. Er kann eine einfache lineare Liste der Themen realisieren, die Kursstruktur graphisch darstellen oder auch jede andere Darstellungsform, die seiner Meinung nach angemessen ist. Die Erfahrungen aus DEDICATED haben gezeigt, daß Autoren sich gerade in diesem Bereich Gestaltungsmöglichkeiten wünschen. Durch entsprechende Programmierung (Benutzerprofilabfragen) läßt sich in einem Inhaltsverzeichnis auch darstellen, welche Teile des Course Nodes der Schüler bereits mit welchem Erfolg absolviert hat. Ein solches Inhaltsverzeichnis läßt sich auch für die Navigation innerhalb des Course Nodes verwenden, d.h. dem Schüler könnte so die Möglichkeit gegeben werden, interaktiv auszuwählen, an welcher Stelle er die Bearbeitung des Course Nodes wieder aufnehmen will.

Unterstützung von Design Pattern

Bereits in Abschnitt „Wiederverwendung von Design Patterns“ auf Seite 28 wurde auf die Bedeutung von Design Patterns hingewiesen und dargelegt, welche Realisierungsmöglichkeiten existieren. Da CDL nur einen festen Satz von Elementen zur Beschreibung von Kursstrukturen bereitstellt, die frei von pädagogischen bzw. didaktischen Aspekten sind, lassen sich Design Patterns nicht als Bestandteil der Sprache unterstützen. Genau dies geschieht im Ansatz von Ostyn (siehe oben) mit der Verwendung von Strategien.

Bei der gemeinsamen Erstellung von Lernmaterial im Rahmen des IDEALS Projektes wurde daher Wert darauf gelegt, alles erstellte Lernmaterial gut zu dokumentieren. Dabei lag ein Hauptaugenmerk auf der Identifikation und Beschreibung von verwendeten Design Patterns. In [77] findet man eine Beschreibung des in IDEALS für das IHE-Szenario (siehe Seite 169) entwickelten Lernmaterials. Diese Sammlung bildet eine gute Grundlage für die Erstellung neuen Materials, da sie neben der Dokumentation des existierenden Lernmaterials auch Hinweise für die Erstellung und Dokumentation gibt. In einfachen Fällen läßt sich die komplette Struktur von Beispiel-Material übernehmen. Lediglich die Belegung der Referenzen und der zugehörigen Profilabfragen muß vorgenommen werden. Etwas komplizierter gestaltet sich die Wiederverwendung, wenn Unterstrukturen zahlenmäßig variiert werden. Dies erfordert eine entsprechend gute Anleitung, welche die Einfügungen/Löschungen in der Struktur und gegebenenfalls die Anpassung von steuernden Elementen beschreibt.

Bei der Verwendung von Wizards muß nicht der Autor die Anpassungen vornehmen, sondern ein Werkzeug, der Wizard, erledigt dies für ihn. Der Autor muß sich dabei nicht mehr mit Details der Implementierung befassen. Wizards ermöglichen auch Autoren ohne Programmierhintergrund die Erstellung von Lernmaterial. Da

1. Insbesondere, wenn nicht abzusehen ist, wann die Ausnahmesituation eintreten kann. In diesem Fall müßte eigentlich nach jedem Schritt im 'normalen' Ablauf Code eingefügt werden, der überprüft, ob eine Ausnahmesituation vorliegt und, wenn das der Fall ist diese Ausnahmesituation auch behandelt.

2. Bei dieser Vorgehensweise sollte das Kurslaufzeitsystem im Fall, daß ein Autor nicht auf Navigations-Exceptions reagiert, in der Lage sein, ein Standardinhaltsverzeichnis zu erstellen. Dazu könnte es einfach eine Liste aller verwendeten Referenzen anzeigen.

Wizards als externe Anwendungen realisiert werden können, lassen sich für MTS Wizards für beliebige Design Pattern erstellen.

Beiden Lösungen gemeinsam ist allerdings:

- ▶ Hat ein Autor ein bestimmtes Design Pattern realisiert, dann läßt sich aus dem erstellten CDL-Code nicht ermitteln, um welches Design Pattern es sich dabei handelt.
- ▶ Die Abbildung des Design Patterns auf die Sprachelemente von CDL muß für jeden Course Node, in dem das Design Pattern zum Einsatz kommt, aufs Neue vorgenommen werden.

Abhilfe schaffen kann hier die Verwendung von generischem Lernmaterial. Technisch gesehen ist es nur ein kleiner Schritt von der Verwendung von Makros hin zu einer Unterstützung von generischem Lernmaterial. Man muß lediglich erlauben, daß Makros parametrisierbar sind und sie so ablegen, daß sie von allen Course Nodes verwendet werden können. Damit lassen sich Makros bereitstellen, die Design Pattern realisieren. Die Verwendung generischen Lernmaterials entspricht somit der Verwendung von Funktionen und Libraries in normalen Programmiersprachen. In diesem Sinn handelt es sich bei den Strategien von Ostyn bereits um generisches Lernmaterial.

Mit der Erweiterung von CDL um eine Möglichkeit, mit Hilfe der elementaren Sprachelemente global parametrisierbare zusätzliche Sprachkonstrukte definieren und verwenden zu können, läßt sich also das Beste aus zwei Ansätzen kombinieren.

- ▶ Die Unterstützung von Design Patterns auf Sprachebene
- ▶ Die Umsetzung eines Design Pattern muß nur einmal realisiert werden und läßt sich wiederverwenden.
- ▶ Der Autor kann nach wie vor durch explizites Ausprogrammieren jede beliebige Vorgehensweise in seinem Lernmaterial realisieren und ist nicht beschränkt auf einen offiziellen Satz von Vorgehensweisen.

Wie bereits in Abschnitt „Wiederverwendung von Design Patterns“ auf Seite 28 erwähnt, ist die Information, welches Design Pattern ein Lernmaterial realisiert, ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl von Lernmaterial. Generisches Lernmaterial eröffnet die Möglichkeit, Design Pattern zur Definition von Lernmaterial zu nutzen. Zusätzlich ist es aber auch notwendig, Design Patterns in den Metadaten zu unterstützen.

4.3 Metadaten für Lernmaterial

In MTS werden Metadaten für das Lernmaterial als Selbstbeschreibungen bezeichnet. Dieser Name bringt zum Ausdruck, daß Metadaten in MTS als ein integraler Bestandteil des Lernmaterials betrachtet werden. Lernmaterial verfügt quasi über die Möglichkeit, Auskunft über sich selbst zu geben.

Definition 12: *Lernmaterial ist immer ein Paar aus Selbstbeschreibung (Metadaten) und den eigentlichen Materialdaten. Die Materialdaten enthalten die Informationen, die zur Darstellung des Lernmaterials benötigt werden, während die Metadaten Auskunft geben über die Fähigkeiten und den Verwendungszweck des Lernmaterials.*

Wie in Abbildung 21 dargestellt erfolgt in MTS jeder Zugriff über die (kontextspezifischen) Metadaten. Dadurch ist sichergestellt, daß die Kursablaufsteuerung über die notwendigen (lernspezifischen) Informationen verfügt, die sie zur Steuerung des Kursablaufs und insbesondere zur Lernerfolgs-Profilierung benötigt. Die Kursdarstellungskomponente benötigt Zugriff auf die eigentlichen Materialdaten. Weil die Zuordnung von Metadaten zu Materialdaten eindeutig (n:1) ist, lassen sie die Materialdaten ausgehend von dem Metadaten-satz leicht ermitteln. Die Materialdaten für ein Lernstrukturelement können Verweise auf andere Lernstrukturelemente und auf Lerneinheiten enthalten. Materialdaten für Lerneinheiten können auf Lernobjekte verweisen. Damit die Kursablaufsteuerung das referenzierte Lernmaterial richtig verwenden kann, benötigt sie wiederum die kontextspezifischen Metadaten. Daher handelt es sich bei den Verweisen in den Materialdaten (Referenzen) um Referenzen auf Metadaten. Über diese Metadaten kann dann wiederum auf die Materialdaten des referenzierten Lernmaterials zugegriffen werden.

Man erkennt, daß bei MTS aufgrund der Tatsache, daß Lernmaterial konsequent als ein Paar aus Metadaten und Materialdaten gesehen wird, der Aspekt der kontextspezifischen Metadaten (Beschreibung des aktuellen Verwendungszwecks) bereits auf konzeptueller Ebene sauber abgebildet wird. Diese klare Strukturierung fehlt in der Content Aggregation nach IMS. Da jedes Lernmaterial als eigenständige Einheit abgelegt wird, gibt es in MTS auch eine saubere Trennung der verschiedenen Lernmaterialebenen. Ein IMS-Manifest (siehe Abbildung 10) beschreibt nicht nur die Kursstruktur (Wissensmodellierungsebene), sondern enthält auch die Metadaten für alle in dem Kurs verwendeten Lernmaterialien. Während auf der Wissensmodellierungsebene somit sowohl Metadaten als auch Materialdaten in derselben Einheit beschrieben werden, ist dies auf den beiden anderen Ebenen nicht der Fall. Für Lernmaterial aus der Wissensvermittlungs- und Wissensrepräsentationsebene enthält ein IMS Manifest nur die Metadaten. Die Materialdaten sind extern abgelegt.

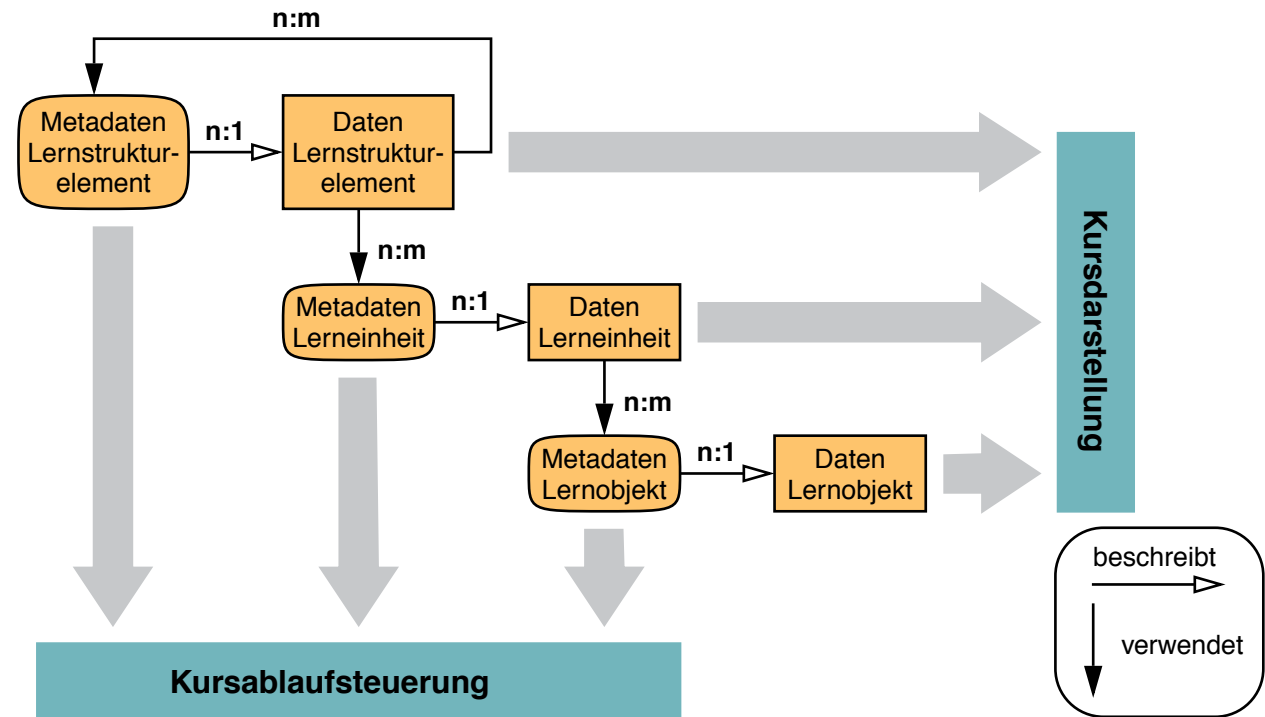


Abbildung 21. Rolle der Metadaten im MTS Content Aggregation Modell

Daß die Metadaten Bestandteil eines jeden Lernmaterials sind und nicht erst kurs-spezifisch dem Lernmaterial (Manifest) zugeordnet werden müssen, ist eine wichtige Voraussetzung für die Realisierung einer wirklich verteilten Lernumgebung. Es erlaubt, die Bindung des Lernmaterials erst zur Lernzeit vorzunehmen, was bei AICC, IMS, IEEE und ADL nicht möglich ist. Daraus ergeben sich wichtige Vorteile:

- ▶ Im MTS ist jedes Lernstrukturelement als eine potentielle Wurzel für einen Kurs verwendbar. Es bedarf daher keiner expliziten Kurszusammenstellung in Form eines Paketes (Package).
- ▶ Ein Kurs ist nicht beschränkt auf eine feste Auswahl von Lernmaterial, sondern er kann das gesamte verteilt vorgehaltene Lernmaterial nutzen. Damit eröffnen sich vielfältige Möglichkeiten zur Aktualisierung und Anpassung von Kursen.
- ▶ Die Informationen im Benutzerprofil sind kursübergreifend verwendbar und nicht wie z.B. bei IMS nur innerhalb eines abgeschlossenen Kurs-Packages.

4.3.1 Selbstbeschreibungen

MTS definiert eine Selbstbeschreibung wie folgt:

Definition 13: Eine **Selbstbeschreibung** ist eine Menge von Attributen, die die für die Durchführung des Lernens relevanten Eigenschaften eines Lernmaterials beschreibt. Jedes Attribut wird als ein Paar aus Attributname und Attributwert repräsentiert.

Lernmaterial besitzt die üblichen technisch-organisatorischen Attribute wie Name, Erstellungsdatum, Sprache, Größe, Typ, Autor sowie weitere von der Materialkategorie abhängige Attribute. Darüber hinaus enthält die Selbstbeschreibung jedes Lernmaterials Attribute, die eine einheitliche Zuordnung nach inhaltlichen oder pädagogischen/didaktischen Kriterien ermöglichen. Das MTS zugrunde liegende Klassifikationsschema beruht auf den vier in Tabelle 7 dargestellten inhaltlichen Attributen. Zwischen diesen Attributen gibt es impli-

Attribut	beschreibt	Beispiel
Context	(wissenschaftliche) Disziplin ^a	computer graphics
Subject	Thema	Clipping
Keyword	Schlüsselbegriff(e) zur näheren Eingrenzung des Themas	Weiler-Atherton Algorithm
Aspect	Sichtweise auf das Thema	algorithms (of)

Tabelle 7. Inhaltliche Klassifikationsmerkmale für Lernmaterial

- a. Hierfür wird eine einheitliche Terminologie verwendet.

zite Abhängigkeiten. Dem Attribut ‚Context‘ sind die Attribute ‚Subject‘ und ‚Keyword‘ hierarchisch untergeordnet. Es gibt zu jedem Attributwert ‚Context‘ einen eigenen Satz von zulässigen Werten für ‚Subject‘ und ‚Keyword‘. Ein Attributwert darf in mehreren Disziplinen verwendet werden, obwohl gleiche Begriffe in unterschiedlichen Disziplinen unterschiedliche Bedeutung besitzen können. Das Attribut ‚Aspect‘ ist dem Attribut ‚Context‘ hierarchisch gleichgestellt und beschreibt die pädagogische Sicht auf ein Lernmaterial.

Dieses Metadatenmodell wurde speziell für MTS entworfen. Mit LOM (siehe Abschnitt „3.3.4 IEEE Learning Technology Standards Committee (LTSC)“) gibt es mittlerweile eine allgemein akzeptierte Spezifikation für lernspezifische Metadaten, auch wenn es sich dabei erst noch um einen Standard Draft handelt. Um Lernmaterial mit anderen Lernplattformen, z.B. SCORM-kompatiblen, austauschen zu können, wäre die Unterstützung von LOM eine Voraussetzung. Vergleicht man das Metadatenmodell von MTS mit LOM, dann stellt man fest, daß die Metadaten des MTS im wesentlichen ein Profil von LOM sind, obwohl sie vor LOM entstanden sind. In Anhang B ist beschrieben, wie sich die Elemente aus dem MTS-Metadatenmodell auf LOM-Elemente abbilden lassen. Es ist zu erwarten, daß in einer der nächsten Versionen das MTS-Metadatenmodell gänzlich LOM-kompatibel werden wird.

4.3.2 Selbstbeschreibungen in MTS

Wie bereits erwähnt, wurden in MTS die Metadaten schon immer als Teil des Lernmaterials betrachtet. Daher war in DEDICATED die Selbstbeschreibung ein Bestandteil der CDL-Skripte für Course Nodes und Function Units. Bei den Lernobjekten wurde die Selbstbeschreibung in einer zusätzlichen Datei, der sogenannten LMO-Datei¹ (siehe Abbildung 22), abgelegt; jeder Zugriff auf ein Lernobjekt erfolgte über diese Datei. So war bereits in DEDICATED sichergestellt, daß für jede Art von Lernmaterial immer auch die zugehörigen Metadaten verfügbar waren. Die Bedeutung, die den Metadaten zugemessen wurden, erkennt man auch daran, daß es ein eigenes Werkzeug zur Erstellung der Metadaten gab, den LMO-Editor (siehe Abbildung 23).

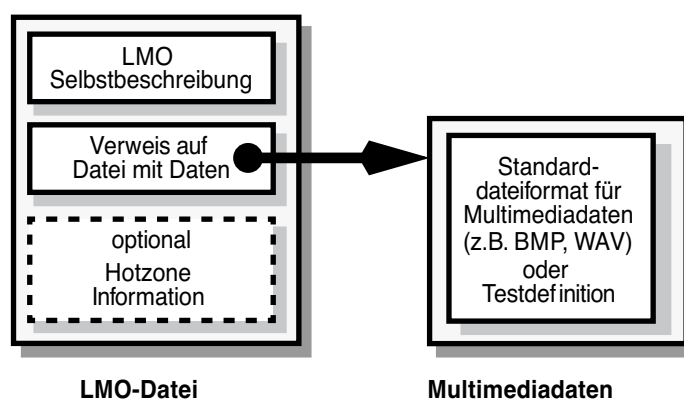


Abbildung 22. LMO-Dateien in DEDICATED

In IDEALS wurde das Lernmaterial dann in einer Datenbank angelegt. Allerdings wurden dabei die Metadaten und die Materialdaten in derselben Zeile der Datenbanktabelle abgelegt. Die Konsequenz daraus ist, daß es in IDEALS nur eine 1:1 Zuordnung von Metadaten zu Materialdaten gibt und nicht eine 1:n Zuordnung wie sie im Konzept vorgesehen ist (siehe Abbildung 21). Praktisch bedeutet das, wenn in IDEALS einer Lernressource n unterschiedliche Selbstbeschreibungen zugeordnet werden sollen, dann müssen die Materialdaten auch n-mal in der Datenbank abgelegt werden. Da es, wie bereits auf Seite 49 erwähnt, gute Gründe gibt, die Materialdaten

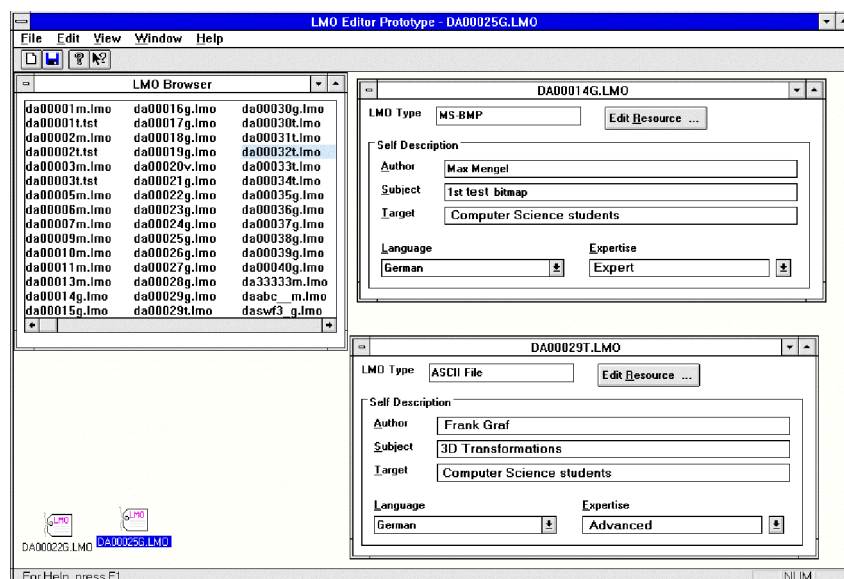


Abbildung 23. Der LMO Editor

1. LMO steht für Learning Material Objects und bezeichnete in DEDICATED solche MOs, die der Wissensvermittlung dienen.

nicht in der Datenbank abzulegen, sollte man dazu übergehen, in der Datenbank anstelle der Materialdaten selbst nur die Information abzulegen, wo die Materialdaten zu finden sind (material location). Damit würde der Zugriff auf Lernmaterial eine Indirektion mehr beinhalten, aber es böte einige Vorteile:

- ▶ Materialdaten müssen nicht mehr mehrfach vorgehalten werden.
- ▶ Man ist frei in der Realisierung des Mechanismus', mit dem man ausgehend von der Information in der Datenbank (material location) auf die Materialdaten zugreift. Insbesondere kann man auch einen Zugriffsmechanismus wählen, der auf HTTP basiert. Damit erschließt man sich das gesamte Spektrum an Material, das für das WWW verfügbar ist, z.B. auch Streaming Formate (siehe Seite 49).
- ▶ Es ließen sich echte n:1 Relationen von Metadaten auf Materialdaten realisieren. Dazu muß man nur zulassen, daß unterschiedliche Metadatensätze auf dieselbe material location verweisen.

Die Erfahrungen in IDEALS haben auch gezeigt, daß das größte Problem bei Metadaten nicht die technische Seite sondern die organisatorische Seite darstellt. Für die maschinenverständliche Identifizierung des Verwendungszwecks und für die Suche von Lernmaterial ist die Verwendung eines einheitlichen Wortschatzes in den Metadaten von entscheidender Bedeutung. Es stellt sich die Frage, wie sich durch organisatorische Maßnahmen sicherstellen läßt, daß dies der Fall ist. LOM definiert zwar ein gemeinsames Beschreibungsformat, legt aber keinen gemeinsamen Wortschatz dafür fest. Stattdessen gibt es mit der Metadatenkategorie 'Classification' eine Möglichkeit beliebige Taxonomien usw. einzubinden. Eine gebräuchliche Lösung ist die Verwendung eines einheitlichen Wörterbuchs. Allerdings hat man dann auch das Problem, daß sich globale Wörterbücher nur schwer an spezielle lokale Bedürfnisse anpassen lassen. Änderungen oder Erweiterungen können nur in Abstimmung mit allen Beteiligten erfolgen und wegen der globalen Entscheidungsprozesse ist dies immer verbunden mit größeren zeitlichen Verzögerungen. Verwendet man dagegen lokale Wörterbücher, dann vereinfacht dies zwar die Verwaltung beträchtlich und Änderungen und Erweiterungen sind auch kurzfristig machbar, aber es besteht die Gefahr der Inkompatibilität. Hier muß man einen Kompromiß finden zwischen dem Wunsch nach einem global einheitlichen Wortschatz und der Möglichkeit den Wortschatz gestalten zu können. Dies bleibt eine große Herausforderung an künftige Wissenschaftler und wird hier nicht weiter verfolgt.

4.3.3 Verwendung von Metadaten für die Suche von Lernmaterial

Der Grund dafür, die Metadaten in einer Datenbank abzulegen, war, daß man so einfach eine Suchmaschine für Lernmaterial realisieren kann. Diese Suchmaschine kann von einem Autor, Lehrer oder auch Schüler dazu genutzt werden, um interaktiv Lernmaterial zu finden. Darüberhinaus ermöglicht erst die Existenz dieser Suchmaschine, daß in MTS die Bindung des Lernmaterials auch erst zur Kurslaufzeit erfolgen kann (siehe Abschnitt „4.4.1 Statische und dynamische Referenzen“). MTS bezeichnet das Auflösen einer solchen Suchanfrage als *Mapping* und die Suchmaschine als *Mapper*. In IDEALS ist der Mapper als eine Komponente des Kurservers implementiert (siehe Abbildung 15). Abbildung 18 zeigt auch den Dialog, mit dem in der Autoren-umgebung auf die Suchmaschine zugegriffen werden kann.

Bei der Formulierung einer Suchanfrage sind dieselben Aspekte von Relevanz wie bei einer Selbstbeschreibung. Daher können in einer Suchanfrage auch dieselben Attribute verwendet werden, wie in einer Selbstbeschreibung. Allerdings müssen in einer Suchanfrage nicht alle Attribute angegeben werden. Anders als bei einer Selbstbeschreibung dürfen in einer Suchanfrage für ein Attribut mehrere Alternativwerte vorgegeben werden, und es dürfen auch Gewichte für die Attribute und die Attributwerte vorgegeben werden. Die Suchmaschine vergleicht die Suchanfrage mit den Metadaten der vorhandenen Lernmaterialien und ermittelt so das Lernmaterial, das der Anfrage am besten entspricht. Das Vorgehen bei der Suche nach Lernmaterial (Mapping) läßt sich mathematisch wie folgt darstellen:

Sei:

$$\begin{aligned} A &= \{A_i\} && \text{Menge aller Attribute, mit} \\ A_i &= \{a \mid a \text{ ist zulässiger Attributwert für Attribut } i\} \\ n &= |A| && \text{Anzahl der Attribute} \end{aligned} \quad (\text{GL 1})$$

Dann läßt sich eine Selbstbeschreibung S darstellen als ein Vektor aus Elementen von A_i und die Gesamtheit des Lernmaterials Ω als die Menge dieser Vektoren:

$$\begin{aligned} \Omega &= \{S \mid S \text{ ist Selbstbeschreibung eines existierenden Lernmaterials}\} \\ \text{mit } S &= (s_1, s_2, \dots, s_n) && \text{mit } s_i \in A_i \end{aligned} \quad (\text{GL 2})$$

Eine Lernmaterialanfrage L läßt sich analog dazu als n-Tupel darstellen. Nur sind in diesem Fall die Elemente des Tupels keine Attributwerte sondern Paare aus einer Gewichtung für das Attribut und einer Menge von ebenfalls gewichteten Alternativwerten:

$$\begin{aligned}
 L &= ((w_1, L_1), (w_2, L_2), \dots, (w_n, L_n)) \quad \text{mit} \\
 w_i &\in [0,1] \quad \text{und} \\
 L_i &= ((l_{i,1}, w_{i,1}), (l_{i,2}, w_{i,2}), \dots, (l_{i,n_i}, w_{i,n_i})) \quad \text{mit } l_{i,j} \in A_i \text{ und } w_{i,j} \in [0,1]
 \end{aligned} \tag{GL 3}$$

Weiterhin wird vorausgesetzt, daß es für jedes Attribut eine Bewertungsfunktion $Eval()$ gibt, die aussagt, wie gut ein gegebener Attributwert l aus einer Lernmaterialanfrage mit einem Attributwert s aus einer Selbstbeschreibung übereinstimmt. Der Wert 0 steht für keine Übereinstimmung, während der Wert 1 eine vollständige Übereinstimmung ausdrückt. Mit Hilfe dieser Attributbewertungsfunktion läßt sich eine Bewertungsfunktion $Map(L, S)$ definieren, die aussagt, wie gut eine Selbstbeschreibung S einer Lernmaterialanfrage entspricht:

$$\begin{aligned}
 Eval_i(l, s) &\rightarrow [0,1] \quad \text{mit } l, s \in A_i \\
 Map(L, S) &= \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot \max_{j=1}^{|L_i|} (Eval(l_{i,j}, s_i) \cdot w_{i,j})}{\sum_{i=1}^n w_i}
 \end{aligned} \tag{GL 4}$$

Das Mapping stellt sich dann dar als die Funktion, die zu einer Lernmaterialanfrage alle Selbstbeschreibungen findet, für die die Bewertungsfunktion $Map(L, S)$ ihren maximalen Wert annimmt.

$$Mapping(L) \rightarrow \{ S \in \Omega \mid Map(L, S) = \max_{s \in \Omega} (Map(L, s)) \} \tag{GL 5}$$

Wenn man nur daran interessiert ist, welches die Selbstbeschreibungen mit maximaler Bewertung sind, aber der Wert des Maximums nicht von Bedeutung ist, dann läßt sich die Berechnung noch etwas vereinfachen, indem man bei der Bewertungsfunktion $Map()$ auf die Normierung verzichtet:

$$\begin{aligned}
 \overline{Map}(L, S) &= \sum_{i=1}^n w_i \cdot \max_{j=1}^{|L_i|} (Eval(l_{i,j}, s_i) \cdot w_{i,j}) \\
 \overline{Mapping}(L) &\rightarrow \{ S \in \Omega \mid \overline{Map}(L, S) = \max_{s \in \Omega} (\overline{Map}(L, s)) \}
 \end{aligned} \tag{GL 6}$$

Diese Formeln beschreiben zwar zutreffend die Funktion der Mapperkomponente. Allerdings wäre eine direkte Umsetzung dieser Formeln nicht besonders effektiv. Für die praktische Realisierung müssen daher Mittel und Wege gefunden werden, diese Berechnungen zu optimieren. Soweit es aber diese Arbeit betrifft, ist jedoch das von diesen Gleichungen vermittelte Verständnis der Vorgänge beim Mapping ausreichend.

Diese Formeln zeigen jedoch einige wichtige Eigenschaften des in MTS verwendeten Verfahrens:

- ▶ Sofern mindestens ein Lernmaterial vorhanden ist, liefert es einen Kandidaten.
- ▶ Dieser Kandidat muß nicht notwendigerweise alle Kriterien des Autors oder Lehrers erfüllen, es ist aber sichergestellt, daß es sich dabei um das Lernmaterial handelt, das die Kriterien am besten erfüllt.
- ▶ Das Verfahren kann auch eine Maßzahl liefern, die angibt, wie gut gefundenes Lernmaterial den Kriterien in der Suchanfrage entspricht.
- ▶ Das Verfahren läßt sich leicht so modifizieren, daß es nicht nur den besten Kandidaten sondern eine Liste der besten Kandidaten ermittelt. Der Suchdialog in der Autorenumgebung verwendet diese modifizierte Variante.

Daß in MTS sowohl Selbstbeschreibungen als auch Lernmaterialanfragen als einfache Attributlisten realisiert sind, macht sie auch für Anwender ohne Programmierhintergrund intuitiv verständlich.

4.4 Referenzen

Sowohl MTS als auch die Ansätze von AICC, IEEE, IMS und ADL gehen davon aus, daß Lernmaterial nicht in anderes Lernmaterial eingebettet wird, sondern über Referenzen angesprochen wird. Ein leistungsfähiger Referenzierungsmechanismus ist eine Grundvoraussetzung für modulares Lernmaterial. Deshalb soll in diesem Abschnitt im Detail darauf eingegangen werden. Bevor genauer auf die Möglichkeiten zur Umsetzung von Referenzen eingegangen wird, sollen zunächst die beiden prinzipiellen Arten von Referenzen vorgestellt werden.

4.4.1 Statische und dynamische Referenzen

Eine Referenz läßt sich wie folgt definieren:

Definition 14: Eine Referenz ist ein Element der Lernmaterialbeschreibung und enthält die Information, die es dem Kurslaufzeitsystem erlaubt zu entscheiden, welches Lernmaterial an einer bestimmten Stelle in Kursverlauf verwendet werden soll.

Einem Autor sollte bei der Erstellung einer Referenz in erster Linie daran gelegen sein, daß dieser Stelle eine bestimmte Funktion realisiert wird, die er für angebracht hält. Durch welches Lernmaterial dies geschieht und wie das Lernmaterial diese Funktion realisiert, sollte für ihn unerheblich sein¹. Das Kurslaufzeitsystem muß bei der Ausführung des Kurses wissen, welches Lernmaterial es ausführen muß. Die beiden folgend vorgestellten Arten der Referenzierung unterscheiden sich darin, von wem und wann die Entscheidung getroffen wird, durch welches Lernmaterial die gewünschte Funktionalität realisiert wird.

Bei *statischen Referenzen* liegt diese Entscheidung in den Händen des Autors und erfolgt während der Erstellung des Lernmaterials, d.h. vor Erstellung der Referenz. Eine statische Referenz muß deshalb nur einen eindeutigen Bezeichner für das Lernmaterial enthalten, das der Autor ausgewählt hat. Diese Art der Referenzierung ist einfach zu implementieren und jeder Autor ist mit dieser Art von Referenzierung bestens vertraut. Da der Autor immer mit konkretem Lernmaterial arbeitet, stellt sie auch keine großen Anforderung hinsichtlich seines Abstraktionsvermögens, noch erfordert es irgendwelche spezielle Kenntnisse zur Formulierung einer solchen Referenz. Bei der Verwendung einer statischen Referenz wird zur Realisierung der Funktion das vom Autor ausgewählte Lernmaterial verwendet. Daher kann der Autor sicher sein, daß das verwendete Lernmaterial seinen Erwartungen entspricht. Damit ein Autor Lernmaterial in einer statischen Referenz verwenden kann, muß er wissen, daß das Lernmaterial verfügbar ist. Hier ist das Problem nicht darin begründet, daß ein Autor nicht wissen kann, welches Lernmaterial verfügbar ist; dies läßt sich durch eine Suchmaschine lösen. Problematischer ist der zeitliche Aspekt der Verfügbarkeit. Das Lernmaterial muß auch zum Zeitpunkt der Kursausführung noch genauso verfügbar sein. Ist Lernmaterial nicht mehr verfügbar, dann ist auch alles Lernmaterial, das dieses statisch referenziert, nicht mehr voll nutzbar, denn der von dem fehlenden Lernmaterial aufgespannte Teilbaum ist nicht länger verfügbar.

Bei AICC, IMS, IEEE und ADL findet man ausschließlich statische Referenzen. Indem alles Lernmaterial für einen Kurs zu einem Package zusammengestellt wird, das dann in unveränderter Form verwendet wird, ist sichergestellt, daß alles referenzierte Lernmaterial auch verfügbar ist. Bei der Zusammenstellung zu einem Package wird auch die Eindeutigkeit der Bezeichner sichergestellt; allerdings nur innerhalb eines Kurses.

Wenn es dem Autor jedoch vor allem darauf ankommt, daß Lernmaterial eine bestimmte Funktion realisiert und man über eine Suchmaschine verfügt, die aus den Metadaten ermitteln kann, welches Lernmaterial diese Funktion am besten realisieren kann, dann ist es naheliegend, diese Suchmaschine auch zur Referenzierung zu verwenden. Das führt zu den *dynamischen Referenzen*. Bei diesen spezifiziert der Autor in der Referenz auf funktioneller Ebene über welche Eigenschaften das referenzierte Lernmaterial verfügen soll, überläßt die Auswahl des Lernmaterials jedoch dem Kurslaufzeitsystem (Suchmaschine). Eine dynamische Referenz stellt somit eine Suchanfrage dar. Die Kriterien für die Beschreibung und Suche sind sowohl technischer (unterstützte Formate), inhaltlicher (Thema), pädagogischer (Sichtweise, Vorgehensweise) als auch organisatorischer Natur (z.B. sollte Testmaterial nicht zu rasch wiederholt werden). Dynamische Referenzen entsprechen mehr dem Modularitätsgedanken als statische Referenzen, wo die Kenntnis, welche Module verwendet werden, doch oft dazu verführt, bei der Realisierung von Lernmaterial Rücksicht auf die internen Details der verwendeten Lernmaterialien zu nehmen. Als Folge dessen gibt es dann doch Abhängigkeiten zwischen den Lernmaterialien, was dann die angestrebte Modularität zunichte macht. Darüberhinaus eröffnet die Tatsache, daß die Auflösung einer dynamischen Referenz zur Ausführungszeit des Kurses erfolgt, eine Reihe weiterer Möglichkeiten:

- ▶ Bei der Auswahl von Lernmaterial kann das Vorwissen, der bisherige Lernverlauf und die Vorlieben des Schülers mit in Betracht gezogen werden². Dies ermöglicht ein Höchstmaß an Anpassung eines Kurses.
- ▶ Die Suchmaschine wählt immer das am besten geeignete Lernmaterial aus dem aktuell vorhandenen Lernmaterial aus. Wird nach der Definition eines Kurses besser geeignetes Lernmaterial verfügbar, dann wird bei der nächsten Kursausführung automatisch das neue Lernmaterial verwendet.

Lernmaterial, das dynamische Referenzen verwendet, kann sich daher optimal an den Schüler und das vorhandene Lernmaterial anpassen. Da die Auswertung einer virtuellen Referenz ohne jedes Zutun des Autors erfolgt, hängt die Zuverlässigkeit der Suchergebnisse stark von der Sorgfalt ab, mit der Autoren die Selbstbe-

1. zumindestens in Lernsystemen, in denen Lernmaterial austauschbar sein soll, wie etwas MTS und SCORM

2. So will man in einer Referenz z.B. nicht nur allgemein fordern können, „bevorzuge Material, das in der Sprache X vorliegt“, sondern man will auf den jeweiligen Schüler Bezug nehmen können: „bevorzuge Material, das in der Muttersprache des Schülers vorliegt“.

schreibungen und die virtuellen Referenzen für Lernmaterial erstellen. Das Erstellen einer Referenz ist keine triviale Aufgabe. Die Beschreibung einer dynamischen Referenz muß einerseits präzise genug sein, um die Funktionalität, das Wissensgebiet und ähnliche Aspekte des Lernmaterials angemessen beschreiben zu können, aber andererseits auch so einfach sein, daß jeder Autor in der Lage ist sie zu erstellen. Im vorherigen Abschnitt wurde bereits beschrieben, wie sich eine Suchmaschine prinzipiell realisieren läßt. Für die praktische Nutzung muß sichergestellt sein, daß die Suchmaschine eine Suchanfrage in Realzeit auflösen kann, ohne daß eine Interaktion von Seiten des Schülers notwendig ist.

In einem Lernszenario haben sowohl statische als auch dynamische Referenzen ihre Berechtigung. Daher unterstützt MTS auch beide Arten.

4.4.2 Notwendigkeit global eindeutiger Namen

Bei statischer Referenzierung erfolgt der Zugriff auf Lernmaterial über den Namen des Lernmaterials. Bei einem WWW-basierten Lernsystem wäre es naheliegend, Uniform Resource Locators (URLs) [9] als Namen für das Lernmaterial zu verwenden. Der Mechanismus für die statische Referenzierung entspräche dann exakt dem Hypertext Transfer Protocol (HTTP) [11]. Man könnte also auf existierende Standards und Implementierungen zurückgreifen und müßte keine eigene Lösung entwickeln und implementieren. Aber URLs enthalten, explizit oder implizit, immer den Namen des Rechners (Servers), auf dem das angesprochene Lernmaterial abgelegt ist. In einer idealen Umgebung, in der alle Serverrechner immer erreichbar sind und Downloadzeiten und -kosten keine Rolle spielen, wäre dies kein Problem, denn dann wäre es ausreichend, wenn ein Lernmaterial nur genau auf einem Server abgelegt wäre und jeder Zugriff auf dieses Lernmaterial über diesen Server erfolgen würde. In der Praxis jedoch will man vermeiden, daß der Fluß eines Kurses durch das Warten auf Material oder die Nichterreichbarkeit von Material zerstört wird. Daher gibt es den Bedarf, Lernmaterial an andere Server weiterzugeben und es dort zu spiegeln. Insbesondere die Bereitstellung (Spiegelung) von Lernmaterial auf einem internen Server, d.h. einem Server, der sich im selben LAN befindet wie der bzw. die Schüler, bietet eine Reihe von Vorteilen: So kommt es in aller Regel zu einer signifikanten Verbesserung der Verfügbarkeit des Lernmaterials. Darüber hinaus sind in einem LAN höhere Bandbreiten für die Übertragung verfügbar, und die Kosten sind zumeist vernachlässigbar. In bestimmten Situationen ist es sogar wünschenswert, ganz auf das Netzwerk als Transportmedium zu verzichten und statt dessen normale Datenträger wie CD-ROMs zu verwenden.

Würde man URLs verwenden und soll Lernmaterial weitergegeben werden, dann müßten alle absoluten URLs in dem Lernmaterial angepaßt werden und bei den relativen URLs müßte man sicherstellen, daß die Bezüge erhalten bleiben. Daß das gleiche Lernmaterial jetzt unter mehr als einem Namen (Referenz) ansprechbar ist, entspricht zwar den technischen Gegebenheiten, aber nicht der logischen Sichtweise. Außerdem ist die Umstellung der URLs aufwendig und, vor allem wenn sie von Hand durchgeführt werden muß, auch fehleranfällig. Es muß also ein Weg gefunden werden, daß ein bestimmtes Lernmaterial immer über den gleichen Namen ansprechbar ist.

Eine Möglichkeit dazu wäre die ausschließliche Verwendung von relativen URLs. Die daraus resultierende Möglichkeit zur Spiegelung und einfacher Distribution erkaufte man sich durch die Beschränkung auf einen einzigen Server pro Schüler, von dem alles Lernmaterial kommen muß. Weil ein Lernmaterialprovider neben der Bereitstellung von Lernmaterial auch noch andere Aufgaben erfüllt, für die ein zentraler Server essentiell ist, wie das Führen eines Benutzerprofiles, gibt es durchaus organisatorische Gründe, die dafür sprechen, daß ein Schüler immer nur mit einem Lernmaterialprovider und damit mit einem Server zusammenarbeitet. Mit diesem Lösungsansatz läßt sich jedoch nicht wirklich eine gemeinsam nutzbare Lernmitteldomäne realisieren. Wenn mehrere Trainingsprovider ihr Lernmaterial gemeinsam nutzen wollen, dann erfordert dies, daß auf jedem Server alles Lernmaterial vorgehalten werden muß. Das erhöht sowohl den Speicherplatzbedarf als auch den Administrationsaufwand (Synchronisierung). Gar nicht realisieren lassen sich mit relativen URLs spezielle Lernressourcen, die an einen festen Server gebunden sind, etwa weil sie spezielle Hard- oder Software benötigen, die nur auf diesem Server verfügbar ist, z.B. eine spezifische WebCam, einen Simulator, oder ein virtuelles Labor.

Die Lösung für diese Probleme ist die Verwendung von global eindeutigen Namen und von einem Mechanismus der diese global eindeutigen Namen zur Laufzeit in URLs umwandelt.

Definition 15: In MTS ist jedem Lernmaterial genau ein global eindeutiger **logischer Name** zugeordnet. Dieser Name ändert sich auch nicht, wenn das Lernmaterial weitergegeben und auf anderen Servern bereitgestellt wird.

Die Einführung dieser logischen Namen ermöglicht eine saubere Trennung zwischen der logischen Sicht auf das Lernmaterial und der technischen Ebene. In statischen Referenzen werden ausschließlich diese global eindeutigen Namen verwendet, und auch die Verwaltung von Lernmaterial basiert auf diesen. Ein Lernmate-

rial wird immer über denselben Namen angesprochen. Weil dieser logische Name keine Information über den Ablageort enthält, ist es ohne Probleme möglich, daß dasselbe Lernmaterial an mehreren Orten abgelegt ist. Die Kehrseite der Unabhängigkeit des logischen Namens vom Ablageort ist, daß, anders als bei dem einer (absoluten) URL, die Kenntnis des Namens nicht ausreichend ist, um auch auf das Lernmaterial zugreifen zu können. Es bedarf einer Komponente, die zu einem logischen Namen einen zugehörigen Ablageort ermittelt.

4.4.3 Referenzen in IDEALS

MTS unterstützt sowohl statische Referenzen als auch dynamische Referenzen. Statische Referenzen werden in MTS als direkte Referenzen (DRefs) bezeichnet und dynamische Referenzen als virtuelle Referenzen (VRefs). Im Zusammenhang mit Referenzen ist auch der Begriff *Local Training Center* oder kurz LTC von Bedeutung.

Definition 16: Ein *Local Training Center (LTC)* ist eine selbständige administrative Einheit, die ein MTS-System betreibt. Neben den technischen und menschlichen Lernressourcen stellt es auch die administrativen Ressourcen (z.B. Benutzerverwaltung) bereit, die für den Betrieb eines MTS-Systems notwendig sind. Das Erstellen und die Bereitstellung von Lernmaterial sind die zentralen Aufgaben eines LTCs.

Für Referenzen ist dabei von Bedeutung, daß LTCs als die Eigentümer von Lernmaterial betrachtet werden. In diesem Abschnitt wird jetzt im Detail beschrieben, wie statische und dynamische Referenzen in MTS umgesetzt wurden. Dabei wird insbesondere darauf eingegangen, welche Beschränkungen und Probleme sich aus der Implementierung ergeben. Im nächsten Abschnitt werden dann Lösungen vorgestellt, die diese Probleme vermeiden.

Globaler Namensraum für Referenzen

MTS verwendet global eindeutige Namen zur Ansprache (statische Referenzen) und Verwaltung von Lernmaterial. Um die globale Eindeutigkeit der Namen möglichst einfach sicherstellen zu können, wurde jedem Trainingsprovider (LTC) ein eigener Namensraum zugeteilt. Ein Name sieht wie folgt aus: `<LTC Name>/<lokaler Name>`. Der erste Bestandteil des Namens ist immer der offizielle Name¹ des LTCs, an dem das Lernmaterial erstellt wurde. Dann folgt getrennt durch einen Querstrich ein lokaler Name. Dieser kann innerhalb des LTCs frei gewählt werden, muß jedoch lokal, d.h. LTC-weit, einmalig sein. Diese logischen Namen sind global eindeutig und vermeiden Namenskonflikte bei Lernmaterial, das von verschiedenen LTCs stammt. Wird Lernmaterial von einem LTC an ein anderes LTC weitergegeben, dann ändert sich der Name des Lernmaterials nicht. Anders als im WWW ist der Name, mit dem ein Schüler auf ein Stück Lernmaterial zugreift, unabhängig vom aktuell verwendeten Server oder LTC.

Referenzen in Course Nodes

Da für Course Nodes ein selbst entwickeltes Ablageformat verwendet wird, ist die Darstellung von Referenzen in Course Nodes kein Problem, vor allem da die integrierte Autorenumgebung ein Werkzeug zur Verfügung stellt, mit dem ein Autor dialoggesteuert Referenzen erstellen und bearbeiten kann. In Abbildung 18 kann man den Dialog zum Bearbeiten einer Referenz sehen. Für jedes zulässige Attribut einer Referenz gibt es in diesem Dialog ein Eingabefeld. Gibt der Autor im Feld für das DRef-Attribut einen logischen Namen an, dann erzeugt er eine direkte Referenz, und die anderen Attribute werden ignoriert². Läßt er das DRef-Feld leer, dann handelt es sich um eine virtuelle Referenz. Die Existenz eines graphischen Werkzeugs und insbesondere die Tatsache, daß dem Autor angezeigt wird, über welche Attribute ein Course Node verfügt, und er die Attributwerte, anstatt sie selbst eintippen zu müssen, aus einer Liste auswählen kann, stellt eine enorme Arbeitserleichterung für den Autor dar und trägt maßgeblich dazu bei, fehlerhafte Referenzen zu vermeiden. Hilfreich ist auch, daß der Autor, wenn er eine direkte Referenz erstellen will, dieses Werkzeug auch als Suchmaschine für Lernmaterial verwenden kann.

Referenzen in LFUs - DAS MTS-Tag

Wie bereits auf Seite 45 beschrieben verwendet IDEALS das proprietäre MTS-Tag zur Formulierung von Referenzen in LFUs. LFUs werden als HTML-I Dokumente in der Datenbank abgelegt. Damit sie aber auf der Clientseite im WWW-Browser angezeigt werden können, müssen sie beim Herunterladen vom WWW-Server von HTML-I nach HTML konvertiert werden. Dies geschieht durch einen in den MTS-Server integrierten Kon-

1. Dieser offizielle Name muß von einer zentralen Instanz vergeben werden, die sicherstellt, daß der gleiche Name nicht mehrmals vergeben wird. Aufgrund der engen Verknüpfung mit dem Internet, bietet es sich an, die symbolische IP-Adresse des Trainingsproviders als offiziellen Namen zu verwenden und sich so den Aufbau einer eigenen Organisationsstruktur für die Vergabe von LTC-Namen zu ersparen.
2. Es gilt in IDEALS aber als guter Stil, die anderen Attribute dennoch anzugeben, denn so läßt sich eine direkte Referenz jederzeit durch das Wegnehmen (Auskommentieren) des DREF-Attributs in eine virtuelle Referenz umwandeln.

verter, der alle in einer LFU enthaltenen MTS-Tags sucht und durch entsprechenden HTML-Code ersetzt. Dabei werden auch alle logischen Namen in server-spezifische URLs umgewandelt. Abbildung 24 zeigt die Syntax eines MTS-Tags für eine direkte Referenz:

```
<MTS>
  dref = <logischer Name>
  mediatype = <Mediatyp: Bild, Sound, ... >
  [name = <Attributname> value = <Attributwert> ]*
  [<sonstiger Text> ]
</MTS>
```

Abbildung 24. MTS-Tag für eine direkte Referenz

Jedes MTS-Tag für eine direkte Referenz muß die Attribute¹ DRef und Mediatype enthalten. Das Attribut DRef spezifiziert den logischen Namen, und das Attribut Mediatype gibt den Datentyp des referenzierten Lernmaterials an. Das Attribut Mediatype bestimmt, durch welchen HTML-Code das MTS-Tag bei der Konvertierung ersetzt wird (siehe Anhang A). Mit Hilfe der Attribute Name und Value, die auch mehrfach vorkommen dürfen, kann der Autor zusätzliche HTML-Attribute und Attributwerte vorgeben, die in den für das MTS-Tag erzeugten HTML-Code übernommen werden, z.B. Größenangaben für Bilder. Auch sonstiger im MTS-Tag enthaltener Text wird bei der Konvertierung unverändert übernommen. Bei virtuellen Referenzen wird im MTS-Tag anstelle des DRef-Attributs ein VRef-Attribut verwendet. Der Wert dieses Attributs ist eine logische Lernmaterialbeschreibung (Suchanfrage). Sie zählt die Attribute und Attributwerte auf, die der Autor von dem Lernmaterial erwartet. Wie in Abschnitt „4.3.3 Verwendung von Metadaten für die Suche von Lernmaterial“ beschrieben kann der Autor Gewichte für die einzelnen Attribute und Attributwerte festlegen. Abbildung 25 zeigt eine virtuelle Referenz.

```
<MTS>
  vref="context (0.75) = stochastic;
      subject (1.0) = Monte-Carlo-algorithm (1.0) .OR. Random Numbers(0.5);
      ... ;
      author (0.3) = LTC-TUD:graf .OR. LTC-TUD:schnaide"
  MEDIATYPE="DIRECT"
  NAME="..." VALUE="..."
</MTS>
```

Abbildung 25. Beispiel MTS-Tag für virtuelle Referenzen

Enthält ein MTS-Tag sowohl ein DRef-Attribut als auch ein VRef-Attribut, dann wird das VRef-Attribut ignoriert. Das Attribut Mediatype muß auch bei virtuellen Referenzen angegeben werden, da nur so eine korrekte Konvertierung möglich ist. Das hat aber zur Folge, daß in IDEALS MOs nur innerhalb der Grenzen ihres Materialtyps austauschbar sind. Daß ein Autor nicht mehr länger in der Lage ist, virtuelle Referenzen zu erstellen, bei denen er es offen läßt, ob das Lernmaterial ein Text, Bild oder gar eine Simulation sein soll, scheint auf den ersten Blick eine beträchtliche Einschränkung für den Modularitätsgedanken zu sein. Es ist allerdings fraglich, ob das für die Praxis wirklich relevant ist. Dagegen spricht folgendes:

- ▶ Gerade im Layout-Bereich wollen Autoren ein Höchstmaß an gestalterischer Freiheit. Einmal abgesehen davon, daß HTML die Layoutspezifikation nur für Material erlaubt, dessen Typ bekannt ist, übersteigt die Spezifikation eines abstrakten Layouts, bei dem nicht bekannt ist, welches Material verwendet werden soll, die Fähigkeiten eines typischen Autors.
- ▶ Problemlos austauschen kann man nur solche Elemente, die von außen gesehen dasselbe Verhalten aufweisen. Bei Course Nodes und LFUs ist dies der Fall. Bei Lernobjekten hingegen gibt es jedoch durchaus signifikante Unterschiede. So sind Text und Bilder statische Elemente, Video und Sound dagegen dynamische. Diese spezifischen Eigenschaften der Lernobjekte sind von Bedeutung, wenn es darum geht, das Zusammenspiel der einzelnen Lernobjekte zu spezifizieren.
- ▶ Es ist auch fraglich, ob sich jeder Inhalt auch wirklich mit jeder Art von Material gleich gut vermitteln läßt. So lassen sich z.B. optische Effekte, die im Zusammenhang mit der Rasterisierung auftreten, sicherlich am besten als Bild darstellen. Eine Darstellung als Text oder gar als Audiomaterial ist zwar nicht unmöglich aber auch nicht so anschaulich. Ein Autor wird daher die Art des zu verwendenden Lernmaterials durchaus mit Bedacht wählen.

1. Genaugenommen handelt es sich dabei um Attribute der Referenz, nicht aber um HTML-Attribute für das MTS-Tag.

Zeitliche Aspekte beim Materialzugriff in LFUs

Damit eine LFU in dem WWW-Browser dargestellt werden kann, muß sie zuvor von HTML-I nach HTML konvertiert werden. Abbildung 26 zeigt im Detail den Übergang von einer LFU auf die nächste. Über die Benutzungsschnittstelle der Kursablaufsteuerung, das Control Panel (siehe Abschnitt „4.7.1 Kursfunktionalitäten“), fordert der Schüler die nächste LFU an. Das Control Panel teilt dies über einen HTTP-Request der Kurssteuerungskomponente auf dem MTS-Server mit. Als Antwort auf diesen Request übermittelt der Server eine URL, über die auf die Daten der nächsten LFU zugegriffen werden kann. Dazu muß der Server zunächst durch Aktualisieren des Zustands des aktuellen Course Nodes ermitteln, welche LFU als nächste angezeigt werden soll. Da Course Nodes Ablaufpläne repräsentieren, bedeutet dies, den Ablaufplan ausgehend von der aktuellen Position so lange weiterzuverfolgen, bis die nächste Referenz auf eine LFU erreicht wird. Stößt man dabei zuerst auf eine Referenz auf einen Course Node, dann findet man die nächste LFU in diesem Course Node oder in einem von diesem Course Node referenzierten Course Node. Deshalb muß zunächst dieser bzw. diese Course Node(s) aus der Datenbank gelesen und interpretiert werden. Irgendwann erreicht man eine Referenz auf eine LFU und dabei handelt es sich dann um die LFU, die als nächste dargestellt werden soll. Bevor diese an den WWW-Browser weitergegeben werden kann, muß sie zunächst von HTML-I nach HTML konvertiert werden. Das ist die Aufgabe des HTML-Konverters (siehe Abbildung 15). Dieser bekommt von der Kurssteuerung den Namen der LFU übergeben, liest den HTML-I Code für diese LFU aus der Datenbank, konvertiert diesen nach HTML und legt ihn dann in einer temporären Datei auf dem WWW-Server ab. Während dieser Konvertierung werden auch die Daten für alle in der LFU enthaltenen MOs aus der Datenbank gelesen und ebenfalls als temporäre Dateien auf dem WWW-Server bereitgestellt. Der bei der Konvertierung erzeugte HTML-Code enthält URLs, die auf diese temporären MO-Dateien verweisen. Erst nachdem alle Daten als temporäre Dateien bereitstehen, wird der HTTP-Request beendet und die URL für die temporäre Datei mit den HTML-Code für die LFU an den WWW-Browser übermittelt, der dann mit der Darstellung der LFU beginnen kann. Dieser Zeitpunkt S wird in der Abbildung durch eine Markierung dargestellt.

Damit der Benutzer nicht den Eindruck erhält, das System würde nicht mehr reagieren, sollte die Zeitspanne vom Zeitpunkt, an dem er die nächste LFU anfordert, bis zum Zeitpunkt S nicht mehr als einige Sekunden betragen. In diesem kurzen Zeitraum müssen also folgende Aktionen durchgeführt werden:

- ▶ Der Code für die aufgerufenen Course Nodes muß aus der Datenbank gelesen werden. Für jeden Course Node, der über eine virtuelle Referenz angesprochen wird, muß diese Referenz zunächst aufgelöst werden.
- ▶ Der Code für die nächste LFU muß aus der Datenbank gelesen, konvertiert und in eine temporäre Datei geschrieben werden. Wird die LFU über eine virtuelle Referenz angesprochen, dann muß auch diese zuerst aufgelöst werden.
- ▶ Die Daten für alle in der LFU verwendeten MOs müssen aus der Datenbank gelesen und in temporäre Dateien geschrieben werden. Auch hier müssen bei Bedarf zunächst virtuelle Referenzen aufgelöst werden.

Das Problem bei dieser Vorgehensweise, die im nachfolgenden als *unmittelbarer Zugriff* bezeichnet wird, sind die MOs. Das Auslesen der Course Nodes und LFUs ist unkritisch, denn dabei handelt es sich nur um kleine Datenmengen, und auch die Anzahl der auszulesenden Elemente ist klein. Anders als bei Course Nodes und LFUs können die Datenmengen bei MOs sehr umfangreich sein, z.B. wenn es sich um ein Video oder ein hochaufgelöstes Bild handelt, und eine LFU kann auch eine große Anzahl von MOs referenzieren. In solchen Fällen kann es leicht zu einer Überschreitung der kritischen Zeitspanne kommen. Unschön ist auch, daß grundsätzlich alle im Code der LFU referenzierten MOs aus der Datenbank gelesen werden und nicht nur solche, die auch tatsächlich verwendet werden. Auch das Auflösen von virtuellen Referenzen kann zeitliche Probleme verursachen.

Ein *verzögerter Zugriff* würde hier Abhilfe schaffen. Hier wird bei der Konvertierung einer LFU – statt die Daten für eine MO aus der Datenbank zu lesen, sie in einer temporären Datei abzulegen und die URL, mit der auf diese temporäre Datei zugegriffen werden kann, in den konvertierten HTML-Code einzufügen – lediglich eine spezielle URL (Aufruf eines serverseitigen CGI-Skripts oder Servlet) eingefügt, die, wenn sie vom WWW-Browser ausgeführt wird, die Daten aus der Datenbank liest. Diese URL enthält als Argument den logischen Namens der gewünschten MO und könnte so aussehen: `http://ltc.thd.de/ltc/GetMO.cgi?DREF=ltc-THD/math/plot.gif`. Da zur Erstellung einer dynamischen URL lediglich der logische Name benötigt wird, müssen während der Konvertierung keine MO-Daten aus der Datenbank gelesen werden. Virtuelle Referenzen sind an dieser Stelle kein Problem mehr, denn diese werden aufgelöst, bevor die spezielle URL eingefügt wird. Das Auslesen aus der Datenbank in eine temporäre Datei erfolgt erst dann, wenn der WWW-Browser über die URL auf die Materialdaten zugreift. Ein weiterer Vorteil ist, daß so MOs nur dann aus der Datenbank gelesen werden, wenn sie auch wirklich verwendet werden. Es ergibt sich somit, der in Abbildung 27 gezeigte Ablauf für den Übergang von einer LFU auf die nächste LFU.

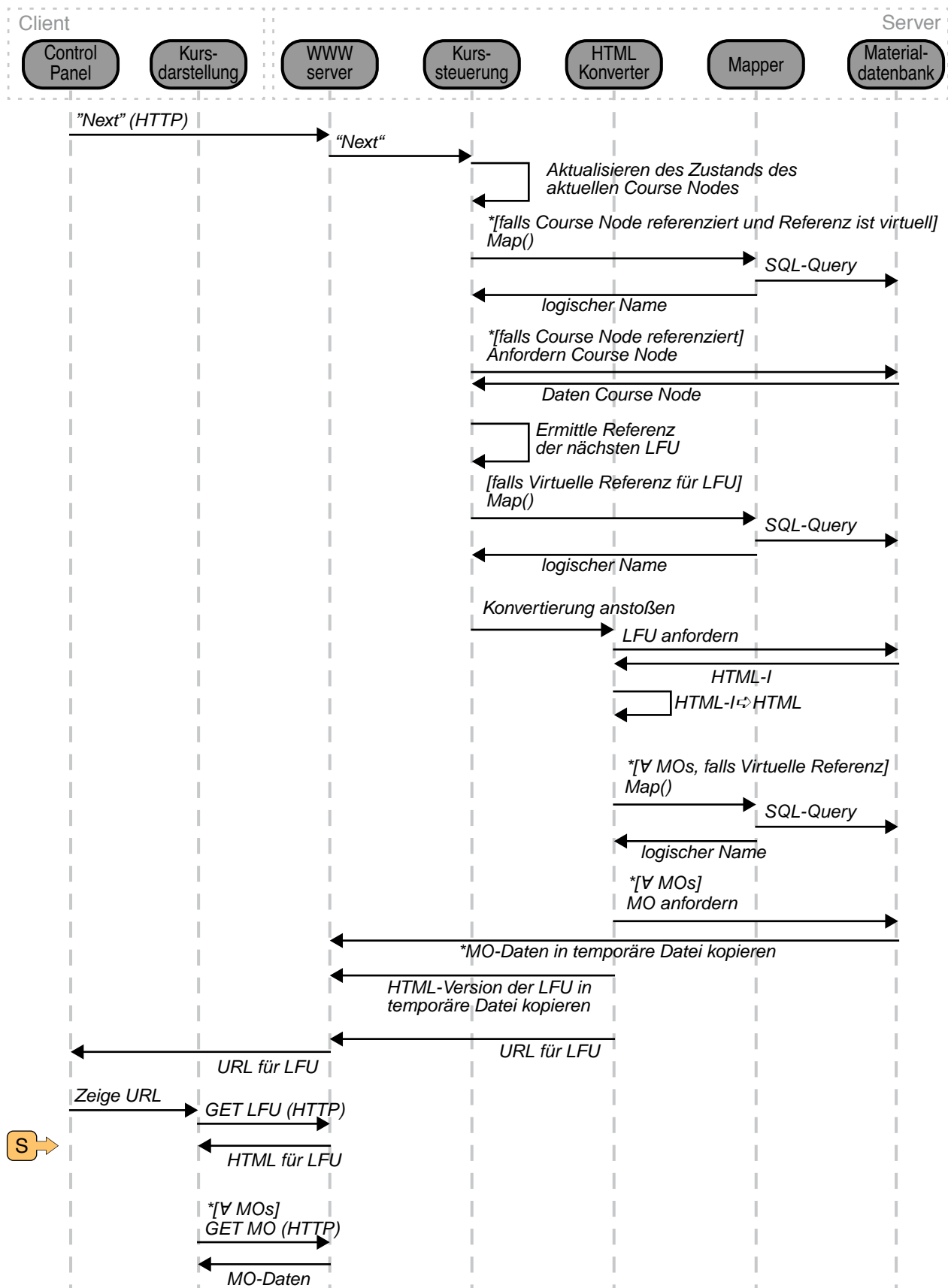


Abbildung 26. Auflösen von Referenzen in einer LFU

Abbildung 28 vergleicht das zeitliche Verhalten beim Laden einer LFU, einmal bei unmittelbarem und bei verzögertem Zugriff. Dabei wird exemplarisch einmal eine LFU betrachtet, die zwei statische MOs enthält, die initial in der Darstellung der LFU sichtbar sind (z.B. Bilder), und eine zweite LFU, die zwei dynamische MOs enthält, die erst dann dargestellt werden, wenn der Schüler dies durch eine entsprechende Aktion veranlaßt

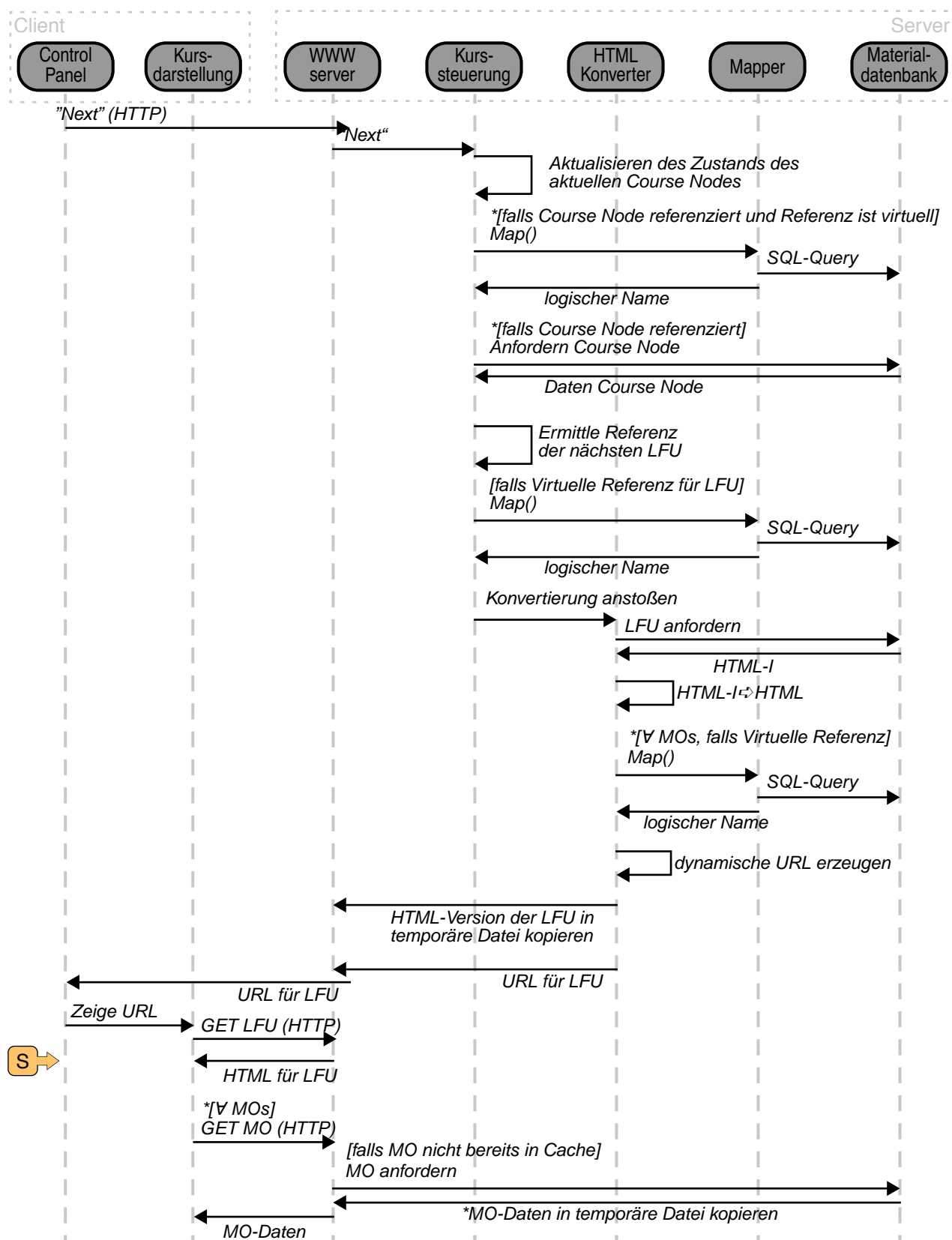


Abbildung 27. Auflösen von Referenzen zur Kurslaufzeit bei verzögertem Zugriff

(z.B. Video oder Audio). Für die Betrachtungen wird angenommen, daß der Schüler die MOs unmittelbar hintereinander zur Anzeige bringt. Wie sich leicht erkennen läßt, ist die Gesamtzeit, bis alles komplett dargestellt wurde, für beide Vorgehensweisen identisch. Betrachtet man aber die Diagramme in Abbildung 28, die den für den Benutzer erkennbaren Fortschritt beim Aufbau der Darstellung im WWW-Browser zeigen, dann ist auch klar erkennbar, daß bei Verwendung des verzögerten Zugriffs bedeutend früher mit dem Aufbau der Darstellung im WWW-Browser begonnen werden kann. Das liegt daran, daß der WWW-Browser bereits mit dem Auf-

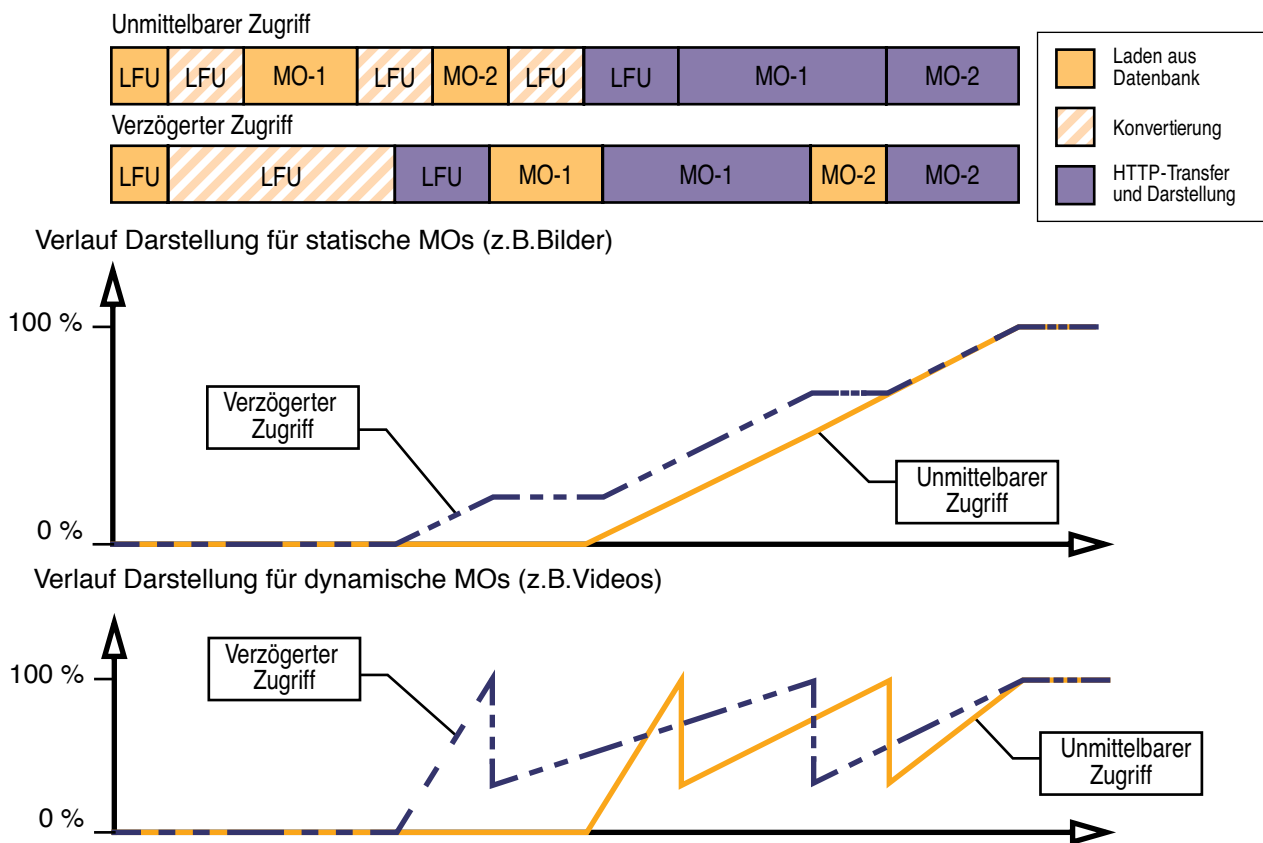


Abbildung 28. Vergleich Ladeverhalten LFUs

bau der Darstellung beginnt, sobald er die HTML-Daten erhalten hat. Die zeitliche Differenz zwischen beiden Verfahren ist genau die Zeit, die benötigt wird, um die MO-Daten aus der Datenbank zu laden. Das bedeutet aber auch, daß je mehr MOs eine LFU enthält oder je größer die Datenmengen für die MOs sind, desto länger ist auch diese anfängliche Verzögerung. Bei dem verzögerten Zugriff entspricht die Zeit, bis die erste Reaktion für den Benutzer sichtbar wird, der Zeit, die benötigt wird, um die LFU-Daten aus der Datenbank zu laden und zu konvertieren, und ist somit unabhängig von der Anzahl oder der Größe der verwendeten MOs. Während bei statischen MOs beim verzögerten Zugriff zwar schon früher mit dem Aufbau begonnen werden kann, geht der Aufbau aber langsamer vonstatten und ist zum selben Zeitpunkt abgeschlossen wie beim verzögerten Zugriff. Auch wenn beide Vorgehensweisen was die Gesamtzeit angeht identisch sind, so ist es für die subjektive Wahrnehmung des Benutzers dennoch besser, wenn mit dem Aufbau der Darstellung möglichst früh begonnen wird, auch wenn der Aufbau dann langsamer vor sich geht. Anders ist es bei der LFU mit den dynamischen MOs. Dort ist bei verzögertem Zugriff der Aufbau der einzelnen Seiten – abgesehen von der letzten – früher abgeschlossen bei unmittelbarem Zugriff. Die Verwendung des verzögerten Zugriffs würde daher das zeitliche Verhalten verbessern und unnötige Zugriffe auf die Datenbank vermeiden.

Probleme aufgrund der Verwendung eines Konverters

Neben den zeitlichen Problemen, die sich jedoch durch eine bessere Implementierung (verzögerter Zugriff) in den Griff bekommen lassen, gibt es jedoch noch eine Reihe weiterer grundsätzlicher Probleme, die aus der Verwendung eines Konverters resultieren. Die Realisierung der Verwaltung der temporären Dateien machte einen signifikanten Anteil des Entwicklungsaufwands für den Konverter aus. Aufgrund der Zustandslosigkeit von HTTP läßt sich nur schwer feststellen, wann die temporären Dateien wieder gelöscht werden können. Auch die Konvertierung von HTML-I nach HTML ist keine triviale Aufgabe. Es wurde darauf verzichtet, einen Parser für HTML-I zu realisieren, weil dies einen zu hohen Implementierungsaufwand¹ erfordert hätte. Statt dessen erfolgt die Umsetzung des MTS-Tags auf Basis von textueller Ersetzung. Dies läßt sich mit weniger Aufwand realisieren, ist aber konzeptbedingt auch nicht so leistungsfähig wie die Alternative mit dem Parser. Daraus ergaben sich Einschränkungen für den zulässigen Code in LFUs².

1. Da HTML-I auch HTML-Erweiterungen wie JavaScript enthalten darf, hätte eine saubere Implementierung erfordert, auch all diese HTML-Erweiterungen zu unterstützen. Besonders problematisch ist dabei, daß auch diese Erweiterungen das MTS-Tag unterstützen müßten. Daß im Fall des Mediatyps DIRECT das MTS-Tag innerhalb eines anderen HTML-Tags verwendet werden kann und HTML-I so von der grundlegenden HTML-Struktur abweicht, erschwert die Implementierung noch zusätzlich.
2. So war es beispielsweise nicht zulässig, MTS-Tags innerhalb von JavaScript-Code zu verwenden.

Ein grundsätzliches Problem ist, daß der Konverter jedesmal entsprechend erweitert oder überarbeitet werden muß, wenn es eine neue Version von HTML oder JavaScript gibt oder neue Mediaformate und damit neue MTS-Tags eingeführt werden sollen.

Ein weiteres wichtiges Problem bei dieser Lösung sind die Werkzeuge. Es gibt mittlerweile eine reichhaltige Menge an ausgereiften Werkzeugen, mit denen man sehr komfortabel HTML-Dokumente erstellen kann. Da diese jedoch das proprietäre MTS-Tag nicht unterstützen, lassen sich diese Standardwerkzeuge nicht oder nur sehr umständlich zur Erstellung von LFUs einsetzen. Wenn man LFUs nicht mit einem normalen Text-Editor erstellen will, dann ist ein naheliegender Weg, daß ein Autor mit einem HTML-Editor eine Version der LFU erzeugt, die anstelle der MTS-Tags normale URLs verwendet und diese Stellvertreter-URLs durch MTS-Tags ersetzt, bevor er die LFU in die Datenbank ablegt. Das klingt auf den ersten Blick recht vielversprechend, doch bei genauerer Betrachtung zeigen sich auch hier einige Schwachpunkte:

- ▶ Zunächst einmal stellt sich die Frage nach den Stellvertreter-URLs. Prinzipiell können beliebige URLs verwendet werden, zu denen es kein Material gibt, jedoch besteht dann die Gefahr, daß Werkzeuge die LFU nicht richtig darstellen können oder daß nur ein Teil der Werkzeugfunktionalität genutzt werden kann.
- ▶ Das Ersetzen der URL durch MTS-Tags ist, wenn es von Hand durchgeführt werden muß, ein mühseliger und fehleranfälliger Vorgang. Dabei muß sich der Autor jedoch mit technischen Details befassen, von denen ein gutes Werkzeug abstrahiert. Ein Werkzeug für die automatische oder zumindestens halbautomatische Umwandlung von HTML nach HTML-I ist ähnlich komplex wie der HTML-Konverter und weist auch dieselben Probleme auf.
- ▶ Die Erstellung einer LFU ist in aller Regel ein iterativer Prozeß. Ein Autor wird eine LFU in einen HTML-Editor bearbeiten. Will er eine LFU während der Erstellung mit dem MTS ausprobieren, dann kann er dies nur dann tun, wenn die aktuellsten LFU-Daten auch in der Datenbank abgelegt sind. Daher muß eine LFU zwischen zwei Bearbeitungsschritten immer wieder von HTML nach HTML-I und zurück konvertiert werden. Dies verkompliziert den Arbeitsablauf enorm, selbst wenn die Konvertierungen vollkommen automatisch durchgeführt würden könnten.

4.4.4 Verbesserung des Referenzierungsmechanismus

Die Implementierung von IDEALS MTS belegt, daß es durch die konsequente Verwendung von Metadaten und global eindeutigen Lernmaterialnamen möglich ist, ein Lernsystem zu realisieren, in dem Lernmaterial in einer globalen Lernmaterialdomäne abgelegt ist und statisch und dynamisch referenziert werden kann. So bestätigt IDEALS die Tragfähigkeit der MTS zugrunde liegenden Konzepte. Die Erfahrungen aus IDEALS haben auch gezeigt, daß die Art und Weise, wie der Zugriff auf Lernmaterial umgesetzt ist, entscheidenden Einfluß auf die Funktion des gesamten Lernsystems hat. Die Erfahrungen mit dem System haben einige Schwachstellen in der Umsetzung aufgezeigt. Nicht bewährt hat sich die Ablage der Materialdaten in der Datenbank (siehe Seite 49). Auch wurde anfänglich nicht gesehen, welche Bedeutung es hat, Referenzen HTML-kompatibel darstellen zu können. Die Einführung des MTS-Tags und des Konverters war die Ursache einer Reihe von Problemen.

In diesem Abschnitt soll aufgezeigt werden, wie sich Referenzen und Zugriff auf Lernmaterial so realisieren lassen, daß die beschriebenen Probleme vermieden werden. Es wird gezeigt, wie sich auch Lernmaterial realisieren läßt, das über mehr als eine Selbstbeschreibung verfügen und aus mehr als einer Datei bestehen kann, wie sich Referenzen in LFUs HTML-kompatibel darstellen lassen und wie mit all diesen Erweiterungen der Zugriff auf Lernmaterial (Referenzierung) ablaufen sollte.

Zusammengesetztes Lernmaterial

Eine gravierende Einschränkung in IDEALS ist, daß jede Art von Lernmaterial als eine einzige Datei abgelegt werden muß. Insbesondere bei LFUs und MOs ist diese Beschränkung auf nur eine Datei zu restriktiv. Es wäre wünschenswert, daß z.B. eine Lerneinheit auch aus mehreren HTML-Dokumenten bestehen darf, die nacheinander bzw. in unterschiedlichen Frames angezeigt werden. Weil diese HTML-Dokumente aber eine logische Einheit bilden, soll diese Lerneinheit über einen logischen Namen angesprochen werden. Auch bei Lernobjekten will man mehrere logisch zusammengehörige WWW-Ressourcen zu einer logischen Gruppe zusammenfassen können und unter einem logischen Namen ansprechen können, z.B. ein Bild und eine zugehörige textuelle Beschreibung oder Audioaufzeichnung. Das kommt bereits in Definition 8 auf Seite 42 zum Ausdruck. Im folgenden soll aufgezeigt werden, wie sich zusammengesetztes Lernmaterial, das intern aus mehreren Dateien besteht, realisieren läßt.

Definition 17: *Lernmaterial, das intern aus mehreren logisch zusammengehörigen Einzelteilen besteht, aber auf das über einen logischen Namen so zugegriffen werden kann, daß es für den Benutzer transparent ist, daß sich das Lernmaterial aus unterschiedlichen Teilen zusammensetzt, wird als **zusammengesetztes Lernmaterial** bezeichnet.*

Die Realisierung von zusammengesetztem Lernmaterial ist kein größeres Problem, man muß nur zulassen, daß ein logischer Name nicht notwendigerweise eine Datei repräsentieren muß, wie es gegenwärtig in IDEALS der Fall ist, sondern auch ein Verzeichnis repräsentieren kann. In diesem Verzeichnis befinden sich dann alle Elemente für das zusammengesetzte Lernmaterial. Mit relativen URLs kann ein Element des zusammengesetzten Lernmaterials auf die anderen Elemente des zusammengesetzten Lernmaterials zugreifen, ohne daß die Modularität des Lernmaterials gefährdet wird. Man muß allerdings sicherstellen, daß beim Zugriff auf das logische Lernmaterial das gesamte Verzeichnis bereitgestellt wird. Ein wichtiger Punkt ist die Initialisierung. In IDEALS war es ausreichend, die Datei, die das Lernmaterial enthielt, auszuführen. Hat man jedoch mehr als eine Datei, dann stellt sich die Frage, welche der Dateien man ausführen muß. Am einfachsten ist es, die Information, welches Element beim Start ausgeführt werden soll, zusammen mit den Metadaten (Selbstbeschreibung) in der Datenbank abzulegen, als Bestandteil der material location (siehe Abschnitt „4.3.2 Selbstbeschreibungen in MTS“ auf Seite 54).

Ein Sonderfall von zusammengesetztem Lernmaterial ist *Multipart-Lernmaterial*. Auch dieses besteht aus mehreren logisch zusammengehörenden Teilen, aber bei Multipart-Lernmaterial muß bei der Referenzierung explizit angegeben werden, auf welches der Bestandteile man zugreifen will. Mit anderen Worten: echtes zusammengesetztes Lernmaterial erscheint von außen als ein einziges Element, während Multipart-Lernmaterial als eine Gruppe von logisch zusammengehörenden Elementen gesehen werden kann (siehe Abbildung 29).

Multipart-Lernmaterial läßt sich wie folgt realisieren: Alle Elemente müssen in demselben Verzeichnis abgelegt werden.

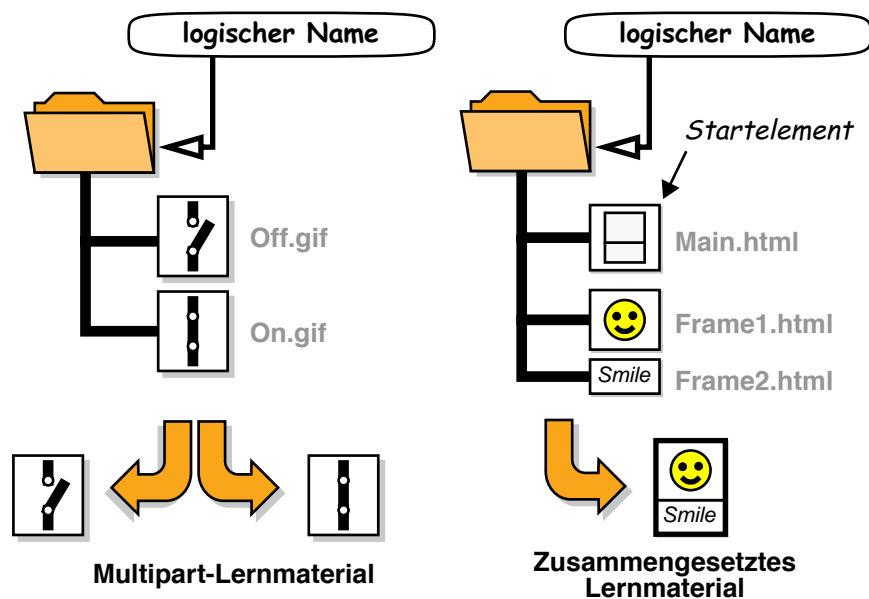


Abbildung 29. Multipart und zusammengesetztes Lernmaterial

Der logische Name des Lernmaterials entspricht dem Namen dieses Verzeichnisses, und der Name der Datei mit den Daten für ein Element ist dann der Partname des Einzelteils. Die Kombination aus logischem Namen und Partnamen identifiziert dann eindeutig das gewünschte Element. Prinzipiell wäre es ebenso vorstellbar, auch die einzelnen Teilelemente mit Hilfe von Metadaten so zu beschreiben, daß sie über virtuelle Referenzen ansprechbar wären. Dies würde die logische Beschreibung von Lernmaterial jedoch enorm verkomplizieren, denn eine Selbstbeschreibung für ein Multipart-Lernmaterial müßte nicht nur die Information über das Lernmaterial im Ganzen enthalten, sondern auch noch die Information, welche Teile ein Multipart-Objekt enthält und welchen Inhalt diese darstellen. Um austauschbar zu sein, müßten die entsprechenden Teilelemente aus austauschbaren Multipart-Lernmaterialien auch denselben Namen verwenden. Daher verzichtet man besser auf die Beschreibung der einzelnen Teilelemente im Multipart-Lernmaterial. Allerdings hat der Autor ja immer noch die Möglichkeit, zu einem Lernmaterial eine weitere Selbstbeschreibung zu erstellen. Damit ist es möglich, daß es neben der Selbstbeschreibung für das Multipart-Lernmaterial im Ganzen noch weitere Selbstbeschreibungen gibt, die ein bestimmtes Teilelement beschreiben.

Mit dieser Erweiterung läßt sich die Definition für Lernmaterial in MTS wie folgt erweitern:

Definition 18: Unter einem Lernmaterial versteht man in MTS eine Gruppe logisch zusammengehörender Dateien oder anderer WWW-Ressourcen, die zusammen ein Lernstrukturelement, eine Lerneinheit oder ein Lernobjekt bilden und durch einen Satz von Attributen (Metadaten) beschrieben werden. Jedes Lernmaterial kann über einen logischen Namen angesprochen werden. Lernmaterial ist modular aufgebaut, und jede Gruppe muß in sich abgeschlossen sein (Vollständigkeit).

Tabelle 8 faßt noch einmal zusammen, welche Arten von Verweisen im Lernmaterial vorkommen können und welchem Zweck sie dienen:

Verweis	Verwendungszweck
Direkte Referenz	Ansprache eines spezifischen Lernmaterials
Virtuelle Referenz	Ansprache eines Lernmaterials, das eine bestimmte Funktion realisiert
Absolute URL	Ansprache von Material im WWW, das nicht als Lernmaterial registriert ist
Relative URL	Ansprache von anderen Bestandteilen des zusammengesetzten Lernmaterials

Tabelle 8. Verweisarten in Lernmaterial und deren Verwendung

Realisierung des Materialzugriffs

An dieser Stelle soll gezeigt werden, wie sich der Zugriff auf Lernmaterial realisieren läßt, wenn man all die Verbesserungsvorschläge beachtet, die in dieser Arbeit bis jetzt vorgestellt wurden. Die Anforderungen können wie folgt zusammengefaßt werden: Lernmaterial soll über statische oder dynamische Referenzen angesprochen werden können. Um eine gemeinsam nutzbare Lernmaterialdomäne aufbauen zu können, werden zur Identifizierung von Lernmaterial (statische Referenzen) global eindeutige logische Namen verwendet. Soweit entspricht dies den Vorgaben, die dem Entwurf des IDEALS-MTS zugrunde lagen. Anders als bei IDEALS sollen nur die Metadaten in einer Datenbank abgelegt werden. Für die Materialdaten wird lediglich gefordert, daß auf sie über eine URL zugegriffen werden kann. Somit umfaßt Lernmaterial sowohl statische¹ Multimediatdaten als auch dynamische² Dienste jeder Art. Um den Materialzugriff realisieren zu können, benötigt man die folgenden drei Grundfunktionalitäten:

- ▶ Ermittlung des logischen Namens des Lernmaterials, das einer Lernmittelanfrage (dynamischen Referenz) am besten entspricht
- ▶ Abbildung eines logischen Namens auf eine URL, über die auf die Materialdaten zugegriffen werden kann
- ▶ Zugriff auf die Materialdaten über eine URL

Vergleicht man dies mit den abstrakten Funktionsblöcken in MTS (Abschnitt 4.1.2) und der Systemarchitektur des IDEALS MTS (Abbildung 15), dann erkennt man: Die erste Funktionalität entspricht exakt dem Funktionsblock Materialauswahl und somit der Mapper-Komponente im IDEALS MTS. Die zweite und dritte Grundfunktionalität zusammen realisieren den Funktionsblock Materialablage. Der Funktionsblock Materialablage wird dabei aufgeteilt in eine Komponente, die für die logischen Namen (Metadaten) zuständig ist, und eine, die für die Materialdaten zuständig ist. Die Komponente, die für das Auflösen der logischen Namen in URLs zuständig ist, wird im folgenden als *Lernmaterialbroker* bezeichnet. In IDEALS MTS existierte dieser nicht als eigenständige Komponente, sondern war direkt mit der für die Materialdaten zuständigen Komponente verschmolzen (Datenbank). Anstelle der Datenbank wird der Zugriff auf die Materialdaten jetzt über einen WWW-Server realisiert. Dadurch lassen sich alle Arten von Lernmaterial unterstützen, die sich im WWW darstellen lassen. Es ist nicht notwendig, eine eigene Komponente zu implementieren, die das Lernmaterial im WWW bereitstellt (siehe Seite 61ff).

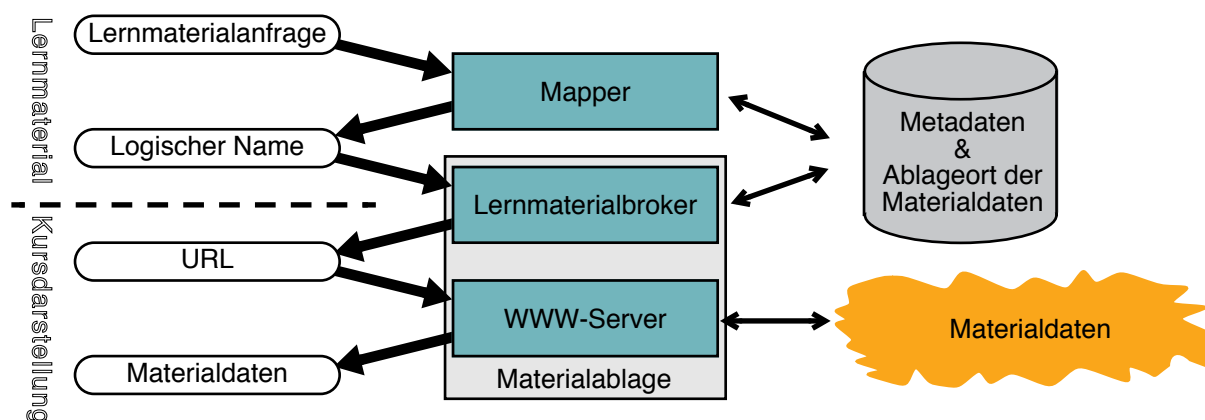


Abbildung 30. Materialzugriff und involvierte Komponenten

1. Unter statisch verstehen wir hier, daß der Inhalt, auf den zugegriffen wird, fest vordefiniert ist. Videodaten sind nach dieser Definition statische Daten.
 2. Dynamisch meint in diesem Zusammenhang, der Inhalt wird jedesmal neu berechnet und kann somit für jeden Aufruf spezifisch sein.

Abbildung 30 zeigt, wie sich Referenzen mit Hilfe dieser drei Grundfunktionalitäten bzw. der Komponenten, die diese Grundfunktionalitäten bereitstellen, realisieren lassen. Betrachtet man die Eingangsdaten der einzelnen Komponenten genauer, erkennt man, daß ihre Funktion nur von den Eingangsdaten abhängt, nicht aber von dem aktuellen Kurszustand. Daher lassen sich alle Komponenten als zustandlose Dienste implementieren. Dies vereinfacht die Implementierung, insbesondere wenn sie als WWW-basierte Dienste implementiert werden sollen. Auf die Realisierung des WWW-Servers und der Mapper-Komponente muß nicht weiter eingegangen werden, und bevor weiter auf den Lernmaterialbroker eingegangen wird, soll zunächst einmal der Ablauf eines Zugriffs auf Lernmaterial im Detail dargestellt werden.

Abbildung 31 zeigt einen Zugriff über eine direkte Referenz auf eine Lerneinheit oder Lernmaterial. Dabei wird angenommen, daß die Kurssteuerungskomponente Bestandteil der Clientanwendung ist und nicht wie im IDEALS MTS auf dem Server angesiedelt ist. Welche Vorteile damit verbunden sind, wird in Abschnitt 4.7 erläutert. Neben den Komponenten, die in Abbildung 30 gezeigt werden, benötigt man für den Umgang mit dem Lernmaterial auch noch eine Komponente, mit der neues Lernmaterial registriert, d.h. Materialdaten ein logischer Name zugeordnet

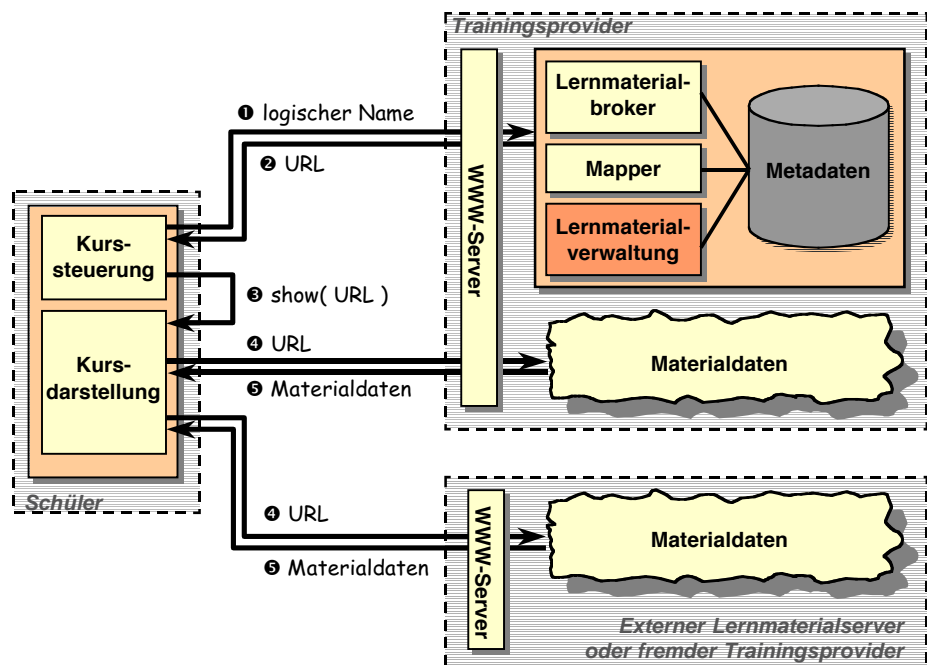


Abbildung 31. Optimierter Zugriff auf Lernmaterial

und mit Selbstbeschreibungen versehen werden kann. Diese vier Komponenten umfassen alle Aspekte der Bereitstellung und Verwaltung von Lernmaterial. Ein Zugriff auf eine Lerneinheit bzw. auf ein Lernobjekt läuft wie folgt ab:

1. Die Kurssteuerung sendet den logischen Namen der Lerneinheit oder des Lernobjekts als HTTP-Request an den Lernmaterialbroker.
2. Der Lernmaterialbroker ermittelt die URL, mit der auf die Materialdaten für dieses Lernobjekt bzw. diese Lerneinheit zugegriffen werden kann, und schickt diese URL als Ergebnis des HTTP-Request an die Kurssteuerung zurück.
3. Die Kurssteuerung übergibt diese URL an die Kursdarstellung.
4. Die Kursdarstellung verwendet die URL, um die Daten von dem lokalen WWW-Server oder auch einer anderen Quelle (z.B. anderer WWW-Server) anzufordern.
5. Der WWW-Server schickt die Daten an die Kursdarstellung, und diese stellt sie dann dar.

Der Ablauf beim Zugriff auf ein Lernstrukturelement erfolgt analog hierzu, jedoch entfällt hier der dritte Schritt, da Lernstrukturelemente von der Kurssteuerung selbst bearbeitet werden. Somit ergibt sich folgender Ablauf:

1. Die Kurssteuerung sendet den logischen Namen des Lernstrukturelements als HTTP-Request an den Lernmaterialbroker.
2. Der Lernmaterialbroker ermittelt die URL, mit der auf den Code (Materialdaten) für dieses Lernstrukturelement zugegriffen werden kann, und schickt diese URL als Ergebnis des HTTP-Requests an die Kurssteuerung zurück.
3. Die Kurssteuerung verwendet die URL, um den Code für das Lernstrukturelement von dem lokalen WWW-Server oder auch einem anderen Server anzufordern.
4. Der WWW-Server schickt den Code an die Kurssteuerung, die ihn dann interpretiert.

Der Zugriff über eine virtuelle Referenz erfolgt im Prinzip genauso, nur wird im ersten Schritt anstelle des logischen Namens eine Lernmaterialanforderung an den Server geschickt. Die Auflösung dieser Lernmaterialanforderung in eine URL übernimmt der Mapper in Zusammenarbeit mit dem Lernmaterialbroker. Das Vorgehen entspricht in allen Fällen exakt den in Abbildung 30 gezeigten logischen Schritten. Im Gegensatz zu IDEALS,

wo jeder Materialzugriff in einem HTTP-Request¹ erfolgt, sind bei diesem Vorgehen immer zwei Schritte notwendig. Im ersten Schritt wird eine URL bestimmt, die angibt, welches Lernmaterial verwendet wird und woher dieses Lernmaterial bezogen werden kann. Der eigentliche Zugriff auf die Materialdaten erfolgt erst im zweiten Schritt.

Man erkennt, daß bei diesem Vorgehen die Darstellung und vor allem Beschaffung der dazu benötigten Materialdaten ausschließlich mit den Mitteln des WWW passiert. Das MTS befaßt sich lediglich mit der Verwaltung der Metadaten und logischen Namen. Daher lassen sich alle im WWW verfügbaren Mediaformate und Dienste als Lernmaterial einbinden. Auch die Verwendung von zusammengesetztem Lernmaterial ist kein Problem, wenn die im vorhergehenden Abschnitt „Zusammengesetztes Lernmaterial“ beschriebene Vorgehensweise übernommen wird.

Sowohl der Mapper als auch der Lernmaterialbroker benötigen für die Durchführung ihrer Aufgaben Informationen, die in der Datenbank abgelegt sind. Für Lernmaterial definiert die Datenbank die Zuordnung zwischen den beschreibenden Metadaten, logischem Namen und dem Ablageort (URL) der Materialdaten. Das ließe sich mit einer einzigen Datenbanktabelle realisieren. Da die Zuordnung von Metadaten zu logischem Namen bei allen LTCs identisch, die Zuordnung von logischem Namen zu Ablageort aber LTC-spezifisch ist, ist man gut beraten, die Informationen, wie in Abbildung 32 gezeigt, auf zwei Datenbanktabellen aufzuteilen. Die Lernmaterialtabelle beschreibt die Eigenschaften der Lernmaterialien, sagt aber nichts über den Ablageort des Lernmaterials aus. Die Locationtabelle gibt lediglich Auskunft darüber, wo das Lernmaterial abgelegt ist. Der Lernmaterialbroker benötigt nur Zugriff auf die Locationtabelle, während der Mapper nur Zugriff auf die Informationen in der Lernmaterialtabelle benötigt. Dadurch, daß jedes LTC über eine eigene Locationtabelle verfügt, ist es möglich, daß Lernmaterial lokal gespiegelt aber dennoch über einen globalen Namen angesprochen wird. Diese Lösung erlaubt es auch einer Materialdateninstanz, beliebig viele Selbstbeschreibungen zuzuordnen².

Lernmaterialtabelle

Metadaten	Logischer Name

Locationtabelle

Logischer Name	URL

Abbildung 32. Lernmaterialdatenbanktabellen

In IDEALS MTS sind die Komponenten, die den Zugriff auf Lernmaterial realisieren, auch zuständig für die Überprüfung der Zugriffsrechte und die Protokollierung der Zugriffe. Es stellt sich die Frage, wer diese Funktionen übernimmt, wenn man den Zugriff mit einem WWW-Server realisiert. Das ist jedoch kein Problem. Da in jeden Materialzugriff ja entweder der Lernmaterialbroker oder der Mapper involviert ist, kann jeder Zugriff auf Lernmaterial mitprotokolliert werden. Auch kann überprüft werden, ob der Benutzer über ausreichende Zugriffsrechte verfügt, und der Zugriff verhindert werden, falls dies nicht der Fall ist. Da die meisten modernen WWW-Server über eigene Zugriffskontrollmechanismen verfügen, kann man darauf verzichten, eigene Mechanismen zu implementieren und die Möglichkeiten des WWW-Servers nutzen. Die meisten modernen WWW-Server können auch mitprotokollieren, auf welche Dateien zugegriffen wurde. Hier ist es jedoch vorteilhaft, einen Mechanismus zu implementieren, der in den Lernmaterialbroker integriert ist, denn so ist sichergestellt, daß jede Anfrage in einem zentralen Protokoll festgehalten wird. Bei Nutzung der von den WWW-Servern erzeugten Protokolle müßten die Protokolle der unterschiedlichen WWW-Server zusammengeführt werden. Der größte Vorteil einer Protokollierung im Lernmaterialbroker ist jedoch, daß die Protokollierung auf logischer statt auf technischer Ebene stattfindet, d.h. es wird der logische Name mitprotokolliert. Auch für Lernmaterial, das sich aus mehreren Dateien zusammensetzt, wird nur ein Eintrag erzeugt.

HTML-konforme Repräsentation von Referenzen

Jetzt soll darauf eingegangen werden, wie sich Referenzen in einer Lerneinheit HTML-konform darstellen lassen. Wenn als Ablageformat für Lerneinheiten kein eigenes proprietäres Format (MTS-Tag) verwendet wird, sondern diese als standard-konforme HTML-Dateien abgelegt werden, dann entfällt die Notwendigkeit für eine Komponente, die das eigene proprietäre Format (HTML-I) nach HTML konvertiert. Damit vereinfacht sich zum einen die Implementierung, und zum anderen vermeidet man die in Abschnitt „Probleme aufgrund der Verwendung eines Konverters“ beschriebenen grundsätzlichen Schwachstellen. Vor allem erreicht man jedoch damit, daß Lerneinheiten bruchlos mit Standardwerkzeugen (HTML-Editoren) bearbeitet werden können.

1. Diese Requests wurden so implementiert, daß ihr Ergebnis eine Redirect Direktive mit der URL der vom Konverter angelegten temporären Datei war. Diese kann man zwar technisch als zwei Requests sehen, aus logischer Sicht handelt es sich aber um einen Request.

2. Jede Kombination Selbstbeschreibung und Materialdaten wird durch einen eigenen logischen Namen repräsentiert.

Im folgenden werden drei Möglichkeiten vorgestellt, mit denen sich statische und dynamische Referenzen HTML-konform in Lerneinheiten darstellen lassen. Allen vorgestellten Möglichkeiten ist gemeinsam, daß sie den verzögerten Zugriff auf Lernmaterial realisieren (siehe Seite 61), woraus ein besseres zeitlichen Verhalten bei der Darstellung einer Lerneinheit resultiert.

Die erste Lösung verwendet dynamische URLs (CGI- bzw. Servletaufrufe). Die Idee ist, daß über eine dynamische URL die Komponenten des MTS-Systems angesprochen werden, die für die Auflösung von Suchanfragen (Mapper) bzw. logischen Namen (Lernmaterialbroker) zuständig sind. Es wird vorausgesetzt, daß jedes MTS-System über solche Komponenten verfügt und daß diese Komponenten bei allen MTS-Systemen an derselben wohlbekannten Stelle zu finden sind. Die spezifischen Informationen für eine Referenz (logischer Name bzw. Suchanfrage) werden als Argument der dynamischen URL abgelegt. Damit lassen sich Referenzen folgendermaßen HTML-konform darstellen:

- ▶ Eine direkte Referenz besteht aus der URL für den Lernmaterialbroker, relativ zum Wurzelverzeichnis des MTS-Servers. Die URL enthält als Argument den logischen Namen des referenzierten Lernmaterials.
- ▶ Eine virtuelle Referenz besteht aus der URL für den Mapper, relativ zum Wurzelverzeichnis des MTS-Servers. Die URL enthält als Argument die Lernmaterialanforderung, die die gewünschten Eigenschaften des Lernmaterials beschreibt.

Als Format für die textuelle Darstellung einer Lernmaterialanforderung kann aus IDEALS das Format für die VRef-Attributwerte übernommen werden (siehe Abbildung 25). Abbildung 33 zeigt, wie Referenzen in einer Lerneinheit aussehen würden. Mit diesem Vorgehen ist das Format für Lerneinheiten reines HTML, und ein Autor kann Lerneinheiten direkt mit den Standard-HTML-Werkzeugen erstellen und bearbeiten.

```
<HTML>
...
<!-- Tag mit direkter Referenz -->
<IMG SRC="/ltc/GetMaterial.cgi?DREF=LTC-TUD/math/Circle13.jpg"
      WIDTH=130 HEIGHT=200>
...
<!-- Tag mit direkter Referenz auf Multipart-Lernmaterial -->
<IMG SRC="/ltc/GetMaterial.cgi?DREF=LTC-TUD/logic/Switch&Part=On.gif"
      WIDTH=50 HEIGHT=100>
...
<!-- Tag mit virtueller Referenz.      --
      -- Der Wert für den HREF-Parameter muß eine Zeichenkette sein -->
<A HREF="/ltc/MapObject.cgi?subject=Circle Formula&
context(0.8)=mathematics&
mediatype=drawing(1.0).OR.bitmap(0.95).OR.video(0.5)&
...
language(0.7)=German(1.0).OR.English(0.9)"> Click here, if
you want to learn more about circles. </A>
...
</HTML>
```

Abbildung 33. HTML-konforme Referenzen in einer Lerneinheit

Mit dieser Lösung sind die URLs für die Referenzen allerdings nicht besonders gut lesbar. Während man einem Autor durchaus noch zumuten kann, direkte Referenzen manuell zu erstellen, wäre für die Erstellung der virtuellen Referenzen ein Werkzeug wie das in Abbildung 18 auf Seite 47 angebracht. Allerdings läßt sich solch ein Werkzeug nicht in Standard-HTML-Werkzeuge integrieren. Daher läßt sich diese Lösung noch verbessern, indem man erlaubt, die Lernmaterialanforderung in eine separate Datei auszulagern. Diese Datei könnte dann mit einem speziellen Werkzeug erstellt werden. Eine URL für eine virtuelle Referenz würde dann nicht den Klartext sondern nur einen Verweis auf die Auslagerungsdatei enthalten. Das würde auch den HTML-Code für eine LFU soweit vereinfachen¹, daß es einem Autor guten Gewissens zugemutet werden kann, auch URLs für virtuelle Referenzen in textueller Form einzugeben. Eine virtuelle Referenz könnte dann wie in Abbildung 34 gezeigt aussehen². Jedes Lernmaterial, das eine virtuelle Referenz verwendet, würde so zu einem zusammengesetzten Lernmaterial.

1. Das Vorgehen bei virtuellen Referenzen entspricht dann dem Vorgehen bei Bildern oder anderen Mediaformaten. Auch diese werden mit externen Werkzeugen erstellt und in dem HTML-Editor nur über ihren Namen (URL) in die HTML-Seite eingebunden.

2. Der folgende Code setzt voraus, daß der WWW-Server CGI-Skripte anhand ihrer Endung erkennt und sie nicht nur in einem bestimmten Teilbereich der WWW-Daten abgelegt werden dürfen.

```
<HTML>
...
<!-- Tag mit virtueller Referenz. -->
<A HREF="./vrefCircles.cgi"> Click here, if
    you want to learn more about circles. </A>
...
</HTML>
```

Die entsprechende Datei für die virtuelle Referenz könnte dann z.B. so aussehen:

```
#!/bin/sh
/mts/tools/bin/map << endVref
    subject=Circle Formula
    context(0.8)=mathematics
    mediatype= drawing(1.0).OR.bitmap(0.95).OR.video(0.5)
...
    language(0.7)= German(1.0).OR.English(0.9)
endVref
```

Abbildung 34. Eine virtuelle Referenz bei Verwendung einer Auslagerungsdatei

Diese Lösung stellt keine besonderen Anforderungen an die Clientinstallation. Jedoch muß als Folge der Verwendung von CGI-Scripten bzw. Servlets die Auflösung der virtuellen und der direkten Referenzen immer auf dem MTS-Server stattfinden. Es gibt aber auch Anwendungsszenarien, in denen es einem Schüler möglich sein soll, auf Lernmaterial zuzugreifen, obwohl er, zumindest in speziellen Situationen, keinen Zugriff auf den MTS-Server hat (Standalonebetrieb). Die beiden nachfolgend vorgestellten Möglichkeiten erlauben die Auflösung der Referenzen auf der Clientseite¹. Somit muß ein Schüler nicht mehr permanent mit dem MTS-Server verbunden sein.

Die zweite Möglichkeit sieht vor, MTS-spezifische Pseudoprotokolle zur Darstellung von Referenzen zu verwenden. Bei URLs ist es prinzipiell erlaubt, anstelle der Standard-WWW-Protokolle alternative Protokolle zu verwenden. Das läßt sich dazu nutzen, um MTS-spezifische Pseudoprotokolle für Referenzen einzuführen. Die MTS-Clientanwendung muß dann in der Lage sein, diese Pseudo-Protokolle geeignet auf die Standardprotokolle (http, ftp oder file) abzubilden oder selbst zu realisieren. Im Zuge dieser Abbildung erfolgt auch die Abbildung der Information aus der Referenz auf den Ablageort.

Verwendet man solche Pseudoprotokolle, dann würde die Syntax der URL auch die Semantik besser wieder spiegeln als dies mit der CGI-Variante der Fall ist. Es bietet sich an, für direkte und virtuelle Referenzen jeweils ein eigenes Pseudoprotokoll zu definieren. Für direkte Referenzen würde das dann wie folgt aussehen:

```
dref://<ltc name>/<lokaler Name> [#<part name>]
```

Die Auslagerung der virtuellen Referenzen sollte auch in diesem Ansatz beibehalten werden. Da eine virtuelle Referenz in der Regel nur innerhalb des Lernmaterials, in dem sie definiert ist, verwendet wird, ist es ausreichend, nur den Partnamen anzugeben. Eine URL für eine virtuelle Referenz² hat dann folgendes Aussehen:

```
vref:<part name>
```

Der HTML-Code für eine Lerneinheit würde dann wie folgt aussehen:

Diese Darstellung ist von einem Autor leicht zu erstellen und bringt auch optisch klar zum Ausdruck, ob es sich bei den verwendeten Referenzen um statische oder dynamische Referenzen handelt. Allerdings funktioniert dieser Ansatz nur, wenn das Lernsystem bzw. die Clientanwendung die Definition von eigenen Protokollen unterstützt. Entwickelt man die Clientanwendung komplett selbst, dann ist es kein Problem Mechanismen für die Umsetzung der Pseudoprotokolle bereitzustellen³. In diesem Fall ist die Verwendung von Pseudoprotokollen eine sehr elegante Lösung. Probleme gibt es jedoch, wenn die Darstellung des Kurses mit einem existierenden WWW-Browser erfolgen soll. Mit dem komplett in Java geschriebenen HotJava WWW-Browser von

1. Zwar können Referenzen nur dann komplett auf der Clientseite aufgelöst werden, wenn die entsprechenden Komponenten und Funktionalitäten (Lernmaterialbroker, Mapper) auf der Clientseite vorhanden sind. Die Realisierung dieser Komponenten auf der Clientseite bedeutet aber nicht, daß die Auflösung der Referenzen ausschließlich auf der Clientseite stattfinden muß. Auch verteilte Lösungen sind realisierbar, bei der die lokale Funktionalität mit solcher kombiniert wird, die auf einem oder mehreren Servern angesiedelt ist.
2. Wollte man auch Lernmaterial zulassen, das nur virtuelle Referenzen definiert, die dann von anderem Lernmaterial verwendet werden können, dann müßte man die folgende, allgemeinere Definition verwenden: `vref:[//<ltc name>/<lokaler Name>#]<part name>`
3. So lassen sich z.B. in Java durch die Definition von Protokollhandlern Implementierungen für eigene Protokolle bereitstellen.

```
<HTML>
...
<!-- Tag mit direkter Referenz -->
<IMG SRC="dref://LTC-TUD/math/Circle13.jpg"
      WIDTH=130 HEIGHT=200>
...
<!-- Tag mit direkter Referenz auf Multipart-Lernmaterial -->
<IMG SRC="dref://LTC-TUD/logic/Switch#On.gif"
      WIDTH=50 HEIGHT=100>
...
<!-- Tag mit virtueller Referenz.      -->
      -- Der Wert für den HREF-Parameter muß eine Zeichenkette sein -->
<A HREF="vref:vrefCircles.cgi"> Click here, if
  you want to learn more about circles. </A>
...
</HTML>
```

Abbildung 35. HTML-Code für eine Lerneinheit bei Verwendung von Pseudoprotokollen

Sun [3] gibt es zwar einen Browser, der die Definition eigener Protokolle erlaubt, aber das ist eine Ausnahme. Die beiden Standard-WWW-Browser von Netscape und Microsoft verfügen über keine Erweiterungsmechanismen zur Definition von eigenen Protokollen.

Die dritte Lösung verwendet anstelle von Pseudoprotokollen Pseudo-URLs. Die Auflösung der Pseudo-URLs übernimmt ein spezieller, lokaler Proxy-Server. Damit eignet sich diese Lösung auch, wenn zur Darstellung ein Standard WWW-Browser verwendet wird. Für direkte Referenzen verwendet man URLs, die wie folgt aufgebaut sind:

`http://dref/<ltc name> /<lokaler Name> [#<part name>]`

und für virtuelle Referenzen verwendet man eine URL der Form:

`http://vref/<part name>`

Damit ein Schüler das Lernsystem nutzen kann, muß er auf seinem Rechner den speziellen Proxy-Server installieren und seinen WWW-Browser so konfigurieren, daß er über diesen Proxy-Server auf das WWW zugreift. Der Proxy-Server untersucht jeden HTTP-Request daraufhin, ob das Ziel des HTTP-Requests einer dieser Pseudo-URLs entspricht, und wenn dies der Fall ist, ersetzt er die Pseudo-URL durch die richtige URL, die auf das Lernmaterial verweist. Alle anderen HTTP-Requests werden unverändert an die im HTTP-Request enthaltenen WWW-Server weitergeleitet. Dieser Proxy-Server stellt also die Funktionalität des Lernmaterialbrokers und des Mappers zur Verfügung. Mit diesen Pseudo-URLs würde sich folgender HTML-Code für eine Lerneinheit ergeben:

```
<HTML>
...
<!-- Tag mit direkter Referenz -->
<IMG SRC="http://dref/LTC-TUD/math/Circle13.jpg"
      WIDTH=130 HEIGHT=200>
...
<!-- Tag mit direkter Referenz auf Multipart-
Lernmaterial -->
<IMG SRC="http://dref/LTC-TUD/logic/Switch/On.gif"
      WIDTH=50 HEIGHT=100>
...
<!-- Tag mit virtueller Referenz.      -->
      -- Der Wert für den HREF-Parameter muß eine
Zeichenkette sein -->
<A HREF="http://vref/vrefCircles.cgi"> Click here, if
  you want to learn more about circles. </A>
...
</HTML>
```

Abbildung 36. HTML-Code für eine Lerneinheit bei Verwendung von Pseudo-URLs

Wie hier dargestellt gibt es mehrere Wege, Referenzen so zu spezifizieren, daß sie kompatibel zu HTML sind und sich mit Standardwerkzeugen leicht erstellen lassen. In Tabelle 9 sind die Unterschiede zwischen den drei verschiedenen Lösungen noch einmal in tabellarischer Form zusammengefaßt:

		CGI/Servlet	Pseudoprotokolle	Pseudo-URLs
Standalonebetrieb möglich		Nein	Ja	Ja
Kursdarstellung erfolgt in Standard-WWW-Browser		Ja	Nein	Ja
auf dem Clientrechner benötigte Software	Eigene Clientanwendung		●	
	WWW-Browser	●		●
	Spezieller WWW-Proxy-Server			●

Tabelle 9. Vergleich der Lösungsmöglichkeiten Referenzen HTML-kompatibel darzustellen

Die Alternative mit den geringsten Anforderungen an die Clientinstallation ist die Version mit den CGI-Skripten bzw. Servlets. Allerdings ist hier das Vorhandensein eines WWW-Servers unabdingbar. Am elegantesten lassen sich Referenzen mit Pseudoprotokollen darstellen. Diese Lösung erlaubt zwar den Standalone-Betrieb, läßt sich aber nicht mit Standard-WWW-Browsern realisieren. Soll die Kursdarstellung über die Standard-WWW-Browser erfolgen und Standalone-Betrieb möglich sein, dann sollte man auf die Alternative mit den Pseudo-URLs zurückgreifen.

4.4.5 Erweiterung der Funktionalität von Referenzen

Im folgenden soll vorgestellt werden, welche Verbesserungen bei der Funktionalität von Referenzen möglich sind.

Einbeziehung von Laufzeitinformationen in virtuelle Referenzen

Betrachtet man die virtuellen Referenzen in IDEALS genauer, dann stellt man fest, daß der Autor beim Formulieren einer virtuellen Referenz für die Attribute immer konkrete, konstante Werte angeben muß. Er kann diese Attributwerte nicht anhand des Benutzerprofils oder aus dem Kurszustand errechnen. Damit ist er nicht in der Lage, in einer virtuellen Referenz Laufzeitinformationen zu berücksichtigen. So kann ein Autor seine Anforderung hinsichtlich der verwendeten Sprache z.B. wie folgt formulieren:

```
language = German(1.0) .OR. English(0.8)
```

Dies besagt „bevorzuge Deutsch aber akzeptiere auch Englisch“. Wünschenswert wäre es, wenn der Autor hinsichtlich der Sprache spezifizieren könnte: „bevorzuge Material in der Muttersprache des Schülers aber akzeptiere auch englisches Material“. Dieser Fall ließe sich auch mit den Sprachmitteln von IDEALS MTS noch dadurch lösen, daß man einen Pseudoattributwert ‚Muttersprache‘ zuließe. Ein Autor kann natürlich solche Pseudoattribute verwenden, die im Datenmodell definiert sind. Es stellt sich dann die Frage, in welchen Bereichen man welche Pseudoattribute zur Verfügung stellt. Die Einführung solcher Pseudoattribute bedeutet eine Verkomplizierung der Semantik hinter dem Datenmodell. Mit den Mitteln von IDEALS MTS überhaupt nicht machbar ist es, einen Wert zur Laufzeit zu berechnen und ihn so an den Kursverlauf anpassen zu können, etwa:

```
expertise = 1.0 - numTries * 0.1
```

Lassen sich die Attributwerte in einer virtuellen Referenz zur Laufzeit aus dem Kurszustand oder aus dem Benutzerprofil des aktuellen Schülers berechnen, dann können virtuelle Referenzen optimal an die individuellen Bedürfnisse eines Schülers oder den Kursverlauf angepaßt werden. Eine Lösung ist die Verwendung eines Präprozessors für virtuelle Referenzen. Dieser Präprozessor ist Bestandteil der Kurssteuerung. Bevor eine virtuelle Referenz an den Mapper übergeben wird, durchsucht der Präprozessor die virtuelle Referenz nach speziellen Ausdrücken, die durch eine entsprechende Syntax kenntlich gemacht sind (z.B. geschweifte Klammern), wertet die Ausdrücke aus und ersetzt sie durch das Ergebnis. Das Ergebnis dieses Schrittes ist eine virtuelle Referenz, in der alle speziellen Ausdrücke durch konkrete Attributwerte ersetzt worden sind und die dem Mapper übergeben werden kann. Damit ließe sich der Wunsch nach muttersprachlichem Lernmaterial wie folgt formulieren:

```
language = {UserProfile.getPreferredLanguage()}(1.0) .OR. English(0.8)
```

Es bietet sich an, diesen Präprozessor in die Kurssteuerung zu integrieren, weil diese Komponente den Kurszustand verwaltet, Zugriff auf das Benutzerprofil des Schülers hat und für die Kurssteuerung bereits über die Funktionalität zur Auswertung von Ausdrücken verfügen muß. Ein solcher Präprozessor ist relativ leicht zu

realisieren und bietet dem Autor ein Höchstmaß an Flexibilität. Allerdings liegt es auch allein in der Verantwortung des Autors, daß das Ergebnis des Präprozessors eine gültige virtuelle Referenz ist, sowohl was Semantik als auch Syntax angeht.

Intelligente Referenzen

Bei den Referenzen, wie sie bisher vorgestellt wurden, erfolgt die Auswertung einer Referenz unabhängig davon, wie oft sie bereits ausgewertet wurde. Das hat zur Folge, daß, wenn eine Referenz mehrfach ausgewertet wird, bei statischen Referenzen immer und bei dynamischen Referenzen, falls es nicht zu signifikanten Änderungen im Benutzerprofil oder im vorhandenen Lernmaterial gekommen ist, immer dasselbe Lernmaterial verwendet wird. Dies ist jedoch in nicht in allen Fällen das gewünschte Verhalten. Nehmen wir den Fall, ein Autor will eine Schleife realisieren, in der einem Schüler zunächst Wissen präsentiert und dann durch eine Testaufgabe der Lernerfolg überprüft werden soll, und er will, daß die Schleife solange durchlaufen wird, bis sich der Schüler das Wissen angeeignet hat. In diesem Fall wird der Lehrer sich wünschen, daß bei jedem Durchlauf eine andere Aufgabe verwendet wird. Momentan kann ein Autor dies nur realisieren, wenn er unter Verwendung von statischen Referenzen alle Alternativen für die Aufgaben explizit ausprogrammiert. Wenn er also n alternative Aufgaben zur Verfügung stellen will, dann muß er dies mit Hilfe von n Referenzen umsetzen, die alle die identische Funktion realisieren. Ist Lernmaterial, das er über eine statische Referenz einbindet, nicht mehr verfügbar, dann ist auch sein Lernmaterial unbrauchbar. Einfacher wäre es, wenn mit einer Referenz nicht nur ein einziges Stück Lernmaterial ausgewählt werden könnte sondern eine ganze Liste von Lernmaterialien. Diese Referenz kennt alles Lernmaterial, das sich als Aufgabe eignet, und bei jedem Durchlaufen kann ein anderes Lernmaterial aus der Liste verwendet werden. Derartige Referenzen sollen als *Intelligente Referenzen* bezeichnet werden. Sie lassen sich wie folgt definieren:

Definition 19: Eine *intelligente Referenz* ist ein Paar aus einer Liste von statischen und dynamischen Referenzen und einer Auswahlstrategie. Die Auswertung der Liste der Referenzen ergibt eine Menge von Lernmaterialien, die alle für die Verwendung in Frage kommen (Kandidaten). Die Auswahlstrategie legt fest, wie bei Bedarf ein Kandidat aus der Liste der Kandidaten ausgewählt wird.

Bei einer intelligenten Referenz wird vor dem ersten Zugriff in einem initialen Schritt (Auswertung) die Liste der Kandidaten bestimmt. Dafür werden alle dynamischen Referenzen aufgelöst (Mapping). Die Menge der Kandidaten ist die Vereinigungsmenge aller logischen Namen aus den statischen Referenzen und aller Ergebnisse aus der Auflösung der dynamischen Referenzen. Vor der Einführung der intelligenten Referenzen war das Ergebnis der Auflösung einer dynamischen Referenz entweder genau ein logischer Name oder die leere Menge. Jetzt macht es auch Sinn, wenn das Ergebnis einer dynamischen Referenz eine Menge von logischen Namen sein kann, eben die Menge aller Lernmaterialien, die der Suchanfrage entsprechen. In diesem Zusammenhang wäre es wünschenswert, wenn man spezifizieren könnte, daß eine dynamische Referenz nur eine maximale Anzahl bzw. immer eine minimale Anzahl von Ergebnissen liefern soll, daß nur solches Lernmaterial als Ergebnis gemeldet wird, dessen Bewertung einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet usw. Mit dem in Abschnitt 4.3.3 beschriebenen Verfahren ist dies ohne Probleme machbar.

Als Ergebnis dieses initialen Schrittes erhält man eine Liste von Lernmaterialien, die alle für die Verwendung in Frage kommen. Wird die Referenz verwendet, dann kann man im Prinzip jeden der Kandidaten aus der Liste verwenden. Welcher Kandidat aber tatsächlich verwendet wird, darüber entscheidet die Auswahlstrategie und zwar bei jedem Zugriff aufs Neue. Es muß möglich sein, daß der Autor die Auswahlstrategie durch die Angabe eines numerischen Ausdrucks vorgeben kann. Dieser Ausdruck wird jedesmal ausgewertet, wenn auf die Referenz zugegriffen wird, und der Ergebniswert bestimmt, welcher der Kandidaten ausgewählt wird. So lassen sich beliebige Auswahlstrategien realisieren. Daneben sollten häufig vorkommende Auswahlstrategien als vorgefertigte Elemente bereitgestellt werden, so z.B.:

- ▶ **Round Robin.** Es werden der Reihe nach alle Kandidaten verwendet. Wurden alle Kandidaten verwendet, dann wird wieder mit dem ersten begonnen.
- ▶ **Zufällige Auswahl.** Es wird jedesmal zufällig ein Kandidat ausgewählt.
- ▶ **Interaktive Auswahl.** Dem Schüler wird die Liste der Kandidaten angezeigt, und er kann z.B. mittels eines Auswahldialogs selbst entscheiden, welcher Kandidat als nächster verwendet wird.

Diese Auswahlstrategien lassen sich noch variieren je nachdem, ob man erlaubt, daß ein Kandidat nur einmal oder eventuell auch mehrfach verwendet werden darf. Im ersten Fall würde man einen Kandidaten, sobald er ausgewählt wurde, aus der Liste der Kandidaten streichen. Die einmalige oder mehrfache Verwendung bezieht sich immer nur auf die aktuelle Verwendung einer Referenz in einer Kurssession. Will man sicherstellen, daß ein Schüler nur solches Material sieht, das er noch nie zuvor bearbeitet hat, dann muß dies durch entsprechende Einträge in den (virtuellen) Referenzen geschehen, die zur Erstellung der Liste der Kandidaten verwendet werden.

Das Verhalten der intelligenten Referenzen hängt auch davon ab, wann die Auswertung durchgeführt wird. Eine Möglichkeit ist es, die Auswertung bei jedem Zugriff auf die intelligente Referenz durchzuführen. Damit wird sichergestellt, daß die Liste der Kandidaten immer aktuell ist und so optimal den aktuellen Bedürfnissen des Schülers entspricht. Allerdings kann sich so die Liste der Kandidaten mit jedem Aufruf ändern, und dies steht im Widerspruch zu der Idee, mit Hilfe einer Auswahlstrategie, nach und nach mehrere der möglichen Kandidaten auszuwählen. Daher sollte die Auswertung nur dann durchgeführt werden, wenn die Menge der Kandidaten erschöpft ist, d.h. bei der ersten Nutzung und wenn alle bei der letzten Auswertung ermittelten Kandidaten verbraucht sind oder wenn der Autor dies explizit anfordert.

4.4.6 Vorbedingungen

Die Information, welches Vorwissen ein Lernmaterial voraussetzt, ist ein wichtiger Bestandteil der Metadaten dieses Lernmaterials. Wenn ein Lehrer einen Kurs für einen Schüler zusammenstellt, kann er, indem er das Benutzerprofil des Schülers mit der Beschreibung des notwendigen Vorwissens aus den Metadaten des in Frage kommenden Lernmaterials vergleicht, das für den Schüler optimale Lernmaterial auswählen. Ostyn [43] spricht in diesem Zusammenhang von *competency gap analysis*. In einem derartigen lehrer-basierten Anwendungsszenario kann man davon ausgehen, daß der Lehrer sicherstellt, daß Schüler nur solche Kurse bearbeiten, für die sie über ausreichendes Vorwissen verfügen. Anders ist die Situation bei ‚Learning on Demand‘. Hier gilt es, ohne Einbeziehung eines menschlichen Experten (Lehrers) Lernmaterial (Modul) zu finden, das einem Schüler Wissen zu einem bestimmten Thema vermittelt. Hier muß nicht nur das gewünschte Wissen vermittelt werden, sondern gegebenenfalls auch alle notwendigen Grundlagen. Dies gilt insbesondere auch für MTS, weil dort ja jeder Course Node ein potentieller Einstiegspunkt für einen Kurs ist. Da ein Schüler jeden Course Node starten kann, man aber von ihm nicht erwarten kann, daß er weiß, welches Vorwissen notwendig ist, sollte ein Kurslaufzeitsystem entsprechende Mechanismen bereitstellen.

Die Ideallösung wäre sicherlich, wenn das Kurslaufzeitsystem in der Lage wäre, anhand der Information aus den Metadaten und den Angaben aus dem Benutzerprofil des Schülers zu ermitteln, ob der Schüler über ausreichendes Vorwissen verfügt und, wenn nicht, wie ihm das notwendige Vorwissen vermittelt werden kann. Schon die Beschreibung von Wissen ist keine triviale Aufgabe, und auch die Planung, wie sich Wissen vermitteln läßt, erfordert die Expertise eines Lehrers und läßt sich nur schwer auf den Computer übertragen. MTS verfügt über keine derartige Komponente. Daher ist die einzige Möglichkeit, mit der ein Autor sicherstellen kann, daß ein Schüler auch tatsächlich über das Vorwissen verfügt, das der Autor voraussetzt, daß der Autor in einer Art Vorspann in der Beschreibung eines Course Nodes dies explizit programmiert. Dazu ermittelt er für jedes Thema, das er als Vorwissen voraussetzt, durch eine entsprechende Anfrage an das Benutzerprofil, ob der Schüler tatsächlich über das notwendige Vorwissen verfügt, und wenn das nicht der Fall ist, wird über eine Referenz Lernmaterial angesprochen, das dem Schüler das notwendige Wissen zum Thema vermittelt.

Dabei handelt es sich um ein so gebräuchliches Design Pattern, daß es angebracht ist, dafür spezielle Unterstützung durch das Kurslaufzeitsystem bereitzustellen. Referenzen – insbesondere dynamische¹ – stellen auch einen idealen Mechanismus zur Beschreibung und Auswertung von vorausgesetztem Vorwissen dar. Indem das Kurslaufzeitsystem überprüft, ob der Schüler referenziertes Lernmaterial bereits bearbeitet hat, ist es in der Lage festzustellen, ob der Schüler über das vorausgesetzte Vorwissen verfügt. Ist dies nicht der Fall, kann dem Schüler dieses Vorwissen durch das Ausführen des referenzierten Lernmaterials vermittelt werden. Die Überprüfung von Vorwissen läßt sich daher dadurch realisieren, daß man dem Autor erlaubt, für jeden Course Node² eine spezielle Liste mit Referenzen zu definieren. Jede der Referenzen in der Liste repräsentiert ein bestimmtes Vorwissen, das der Autor als vorhanden voraussetzt. Eine derartige Referenz soll deshalb auch als *Vorbedingung* bezeichnet werden. Bevor das Kurslaufzeitsystem mit der Ausführung eines Course Nodes beginnt, überprüft es zunächst die Liste der Vorbedingungsreferenzen. Durch eine Benutzerprofilanfrage wird überprüft, ob der Schüler das Lernmaterial, das mit einer Vorbedingung assoziiert ist, bereits absolviert hat. Ist dies nicht der Fall, dann kann durch das Ausführen des durch die Vorbedingung referenzierten Lernmaterials das notwendige Grundlagenwissen vermittelt werden. Vorbedingungen können so als spezielle bedingte Referenzen gesehen werden. Abbildung 37 veranschaulicht dies.

Wird bei der Auswertung einer Vorbedingung festgestellt, daß dem Schüler bestimmtes Vorwissen fehlt, dann muß nicht immer zwangsläufig das zugehörige Lernmaterial ausgeführt werden. Stattdessen könnte das Kurslaufzeitsystem zunächst dem Schüler mitteilen, daß ihm notwendiges Vorwissen fehlt und ihm die Wahl lassen zwischen den folgenden Alternativen:

1. Da in der Regel inhaltliche Abhängigkeiten beschrieben werden sollen, liegt die Verwendung inhaltsbasierter Referenzen nahe. Allerdings können manchmal auch materialbasierte Referenzen angebracht sein, z.B. wenn sichergestellt werden soll, daß der Schüler bestimmte Hinweise gelesen hat.
2. Der hier beschriebene Vorbedingungsmechanismus macht vor allem im Zusammenhang mit Course Nodes Sinn. Er ließe sich aber auch auf LFUs anwenden. Seine Übertragung auf Materialobjekte ist dagegen weniger sinnvoll.

- ▶ Zunächst das zusätzliche Lernmaterial präsentieren, das durch die Vorbedingung spezifiziert wird
- ▶ Die Vorbedingung ignorieren und mit der Vermittlung des Wissens beginnen
- ▶ Den Kurs ganz abbrechen

Aufgrund der expliziten Nachfrage ist dem Schüler bewußt, daß ihm notwendiges Grundlagenwissen fehlt. Es wird ihm auch Lernmaterial angeboten, das diese Grundlagen vermittelt, aber es bleibt dem Schüler überlassen, ob er von diesem (zusätzlichen) Angebot Gebrauch macht oder nicht. Ein Schüler wird auf Gebieten, die für ihn neu sind, in aller Regel den Vorschlägen des Systems folgen und von dem Angebot Gebrauch machen. Anders kann der Fall liegen, wenn es sich um einen auf dem Gebiet erfahrenen Schüler handelt, der sein Wissen lediglich vertiefen will. Dieser ist durchaus in der Lage, die Relevanz von angebotenem Lernmaterial zu beurteilen und sollte nicht von einem Automatismus gezwungen werden, sich Inhalte anzueignen, von denen er weiß, daß sie für ihn nicht relevant sind. Auch ist es bei dieser Vorgehensweise kein Problem, wenn das Benutzerprofil unvollständig ist und das Kurslaufzeitsystem daher zu Unrecht davon ausgeht, daß der Schüler eine Vorbedingung nicht erfüllt.

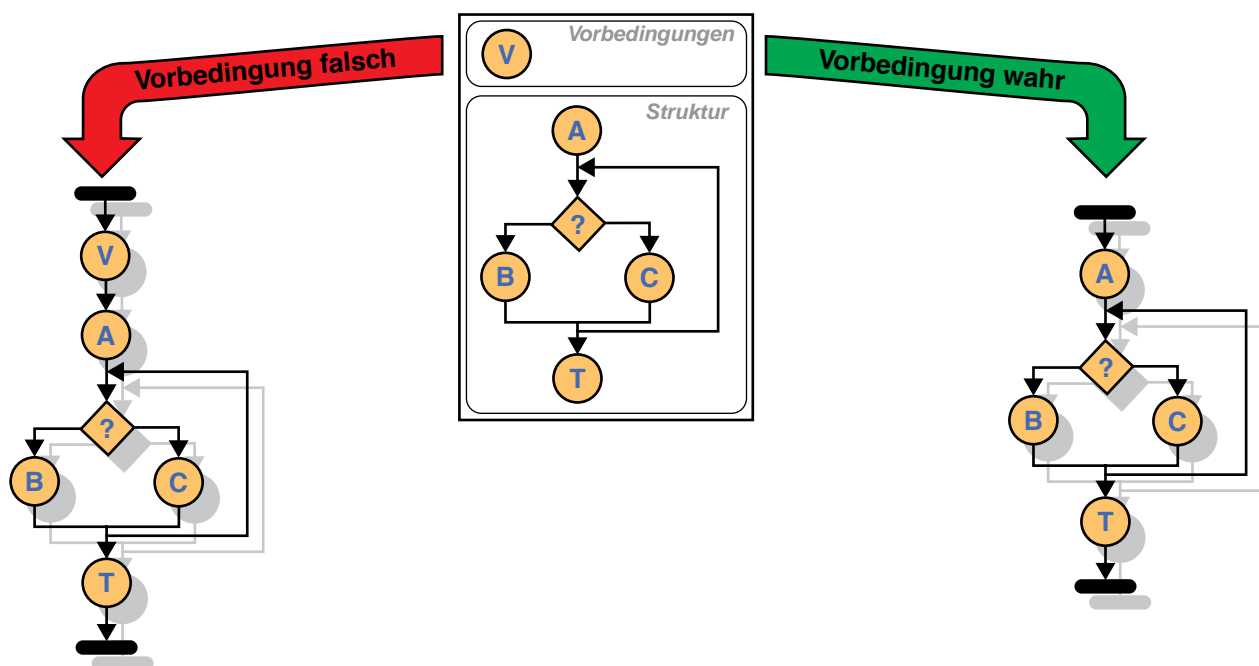


Abbildung 37. Vorbedingung

Indem man festlegt, daß die Vorbedingungen in genau der Reihenfolge überprüft und falls notwendig präsentiert werden, in der sie in der Liste enthalten sind (geordnete Liste), gibt man dem Autor eine Möglichkeit, die Reihenfolge, in der Lernmaterial präsentiert wird, zu beeinflussen. Ein Autor kann grundlegende Vorbedingungen an den Anfang stellen, und, indem er Vorbedingungen für verwandte Themen direkt aufeinanderfolgend platziert, kann er auch sicherstellen, daß diese möglichst eng verknüpft dem Schüler präsentiert werden. Da bei dieser Vorgehensweise alle Vorbedingungen unabhängig voneinander ausgewertet und ausgeführt werden und bei der Auswertung der Vorbedingungen eines Course Nodes die Vorbedingungen von Lernmaterial, das in ihm referenziert wird, nicht berücksichtigt wird, läßt sich der Kursverlauf nicht global optimieren. Dennoch läßt sich so sicherstellen, daß dem Schüler nur solches Material präsentiert wird, für das er über ausreichendes Vorwissen verfügt.

Die Unterbringung der Vorbedingungen in einen separaten Teil der Lernmaterialbeschreibung, für den vom Kurslaufzeitsystem spezielle Unterstützung bereitgestellt wird, befreit den Autor nicht nur davon, immer wieder auftretende Kursfunktionalität immer wieder aufs Neue implementieren zu müssen, sondern es führt auch zu einer sauberen Trennung zwischen der Funktionalität, die der eigentlichen Wissensvermittlung dient, und der, die die Einhaltung der Vorbedingungen sicherstellt. Mit diesem Mechanismus kann der Schüler beliebiges Lernmaterial auswählen, und es ergibt sich quasi von rückwärts, welches zusätzliche Lernmaterial zuvor präsentiert werden muß, um das notwendige Vorwissen aufzubauen. Indem das Kurslaufzeitsystem dem Schüler zwar Führung anbietet, sie ihm aber nicht aufzwingt, lassen sich die unterschiedlichen Anforderungen der unterschiedlichen Benutzer mit demselben Mechanismus abdecken.

4.5 Lernmaterialverwaltung

Im Zusammenhang mit Lernmaterial wurde bis jetzt vor allem auf den Materialzugriff eingegangen. Für den Umgang mit Lernmaterial ist aber auch die Lernmaterialverwaltung von großer Bedeutung. Dort geht es um die folgenden Fragestellungen:

- ▶ Wie wird Lernmaterial verfügbar gemacht? Mit Hilfe der entsprechenden Werkzeuge erstellen die Autoren die Materialdaten. Damit Lernmaterial aber vom Lernsystem genutzt werden kann, muß es für dieses verfügbar gemacht werden. Dieser Vorgang wird auch als *Registrierung* bezeichnet und beinhaltet, daß dem Lernmaterial logische Namen und Metadaten zugeordnet werden.
- ▶ Wie läßt sich Lernmaterial so weitergegeben, daß auch die Metadaten mit weitergegeben werden?
- ▶ Kann bzw. darf ein Autor beliebiges Lernmaterial zur Verfügung stellen oder wird durch technische oder administrative Maßnahmen dafür Sorge getragen, daß nur solches Lernmaterial verfügbar gemacht werden kann, das gewissen Vorgaben genügt, etwa was die Gestaltung oder wichtiger die Qualität angeht?
- ▶ Darf Lernmaterial, nachdem es verfügbar gemacht wurde, nachträglich verändert oder gelöscht werden?
- ▶ Aus Definition 7 (siehe Seite 42) folgt, daß referenziertes Lernmaterial niemals Bestandteil des Lernmaterials sein darf, das die Referenz enthält. Wenn die Referenz und das referenzierte Lernmaterial als unterschiedliche Einheiten abgelegt werden, dann läßt sich jedoch nicht garantieren, daß Referenzen immer auf korrektes Lernmaterial verweisen. Es kann vorkommen, daß das Lernmaterial, auf das eine Referenz verweist, nicht mehr existiert oder in der Zwischenzeit verändert wurde. Wie lassen sich solche Inkonsistenzen aufspüren, beseitigen oder gar verhindern?

Daß diese Fragen für die Praxis von Bedeutung sind, erkennt man daran, daß sich auch die in Abschnitt „3.3 Stand der Technik“ beschriebenen Standardisierungsaktivitäten mit ihnen befassen. So beschreibt das IMS Content Packing Information Model eine Lösung für die zweite Fragestellung.

4.5.1 Das IDEALS Life-cycle Modell für Lernmaterial

Auch das IDEALS MTS verfügt über Mechanismen zum Ex- und Import von Lernmaterial. Aber hinter IDEALS steht ein detailliertes Konzept davon, welche Aufgaben beim Erstellen von Lernmaterial anfallen und wie diese Aufgaben angegangen werden. Details zu diesem Konzept findet man in [77] und [80]. So wird in IDEALS z.B. Wert darauf gelegt, daß Lernmaterial, bevor es für die Nutzung durch die Schüler freigegeben wird, einen formalen Reviewprozeß durchläuft. Dieses Konzept spiegelt sich auch in dem in Abbildung 38 gezeigten Life-cycle Modell für Lernmaterial wieder, das die Basis für die Lernmaterialverwaltung in IDEALS MTS bildet.

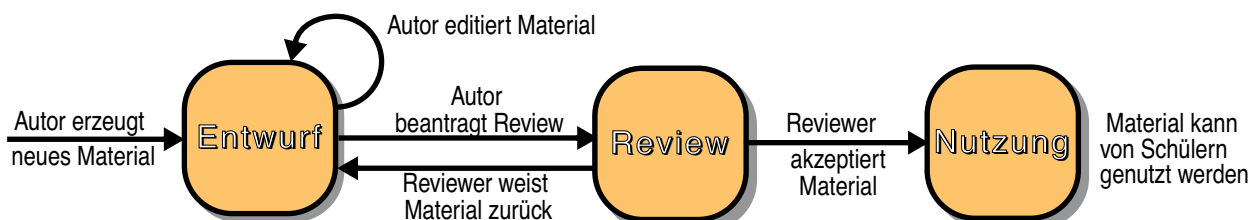


Abbildung 38. MTS Life-cycle Modell für Lernmaterial

Im Verlauf seiner Existenz durchläuft Lernmaterial drei verschiedene Zustände: Nachdem neues Lernmaterial in der Datenbank abgelegt wird (Registrierung), befindet es sich initial im **Entwurfzustand**. In diesem Zustand kann es nur vom Autor verwendet werden und ist für andere Nutzer nicht verfügbar. Der Autor kann das Material solange testen und verbessern, bis es seinen Vorstellungen entspricht. Bevor Lernmaterial der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt wird, muß es einen formalen Reviewprozeß durchlaufen, in dessen Verlauf ein oder auch mehrere Reviewer¹ das neue Lernmaterial auf Übereinstimmung mit Designvorgaben, Konventionen, Korrektheit der Selbstbeschreibung, Qualität und natürlich auch auf inhaltliche Korrektheit überprüft. Ein wichtiges Kriterium für den Review ist auch das Vorhandensein von Dokumentation. Denn ohne eine aussagekräftige und vollständige Dokumentation ist es für einen Reviewer nahezu unmöglich, die Qualität von Lernmaterial mit vertretbarem Aufwand zu beurteilen². Diesem Reviewprozeß entspricht der zweite Zustand, der **Reviewzustand**. Lernmaterial darf in diesem Zustand nicht mehr verändert werden. Neben dem Autor hat jetzt auch der Reviewer Zugriff auf das Material und kann den Code inspizieren, ausprobieren und

1. Aus der Sicht von IDEALS ist ein Reviewer ein Autor mit Sonderprivilegien. Er darf auf Material, das sich im Reviewzustand befindet, zugreifen und dessen Zustand ändern.

2. Daneben ist die Dokumentation auch eine wichtige Informationsquelle für Autoren, die dieses Lernmaterial später wiederverwenden wollen.

bewerten. Wurden im Reviewprozeß Mängel im Lernmaterial entdeckt, dann versetzt der Administrator¹ es wieder zurück in den Entwurfszustand und gibt so dem Autor Gelegenheit, die Mängel zu beheben. Dabei leitet er auch die Anmerkungen des Reviewers an den Autor weiter. Ist das Material allerdings vom Reviewer für gut befunden worden, dann überführt der Administrator es in den finalen **Nutzungszustand**. In diesem Zustand kann das Material von allen Benutzern verwendet werden, sofern sie über ausreichende Zugriffsrechte verfügen. Lernmaterial, das diesen Zustand erreicht, darf weder gelöscht noch geändert werden. Daher sind in Abbildung 38 auch keine Übergänge von diesem Zustand in einen der beiden anderen zu sehen. Mit dieser Forderung soll vermieden werden, daß Material nicht mehr verwendet werden konnte, weil verwendetes Lernmaterial nicht mehr oder nur noch in veränderter Form vorhanden war. In der Praxis ließ sich diese Forderung nicht hundertprozentig durchhalten. Gewissermaßen als Zugeständnis an die Praktikabilität wurde dem MTS-Administrator erlaubt, veröffentlichtes Material wieder in den Reviewzustand zurückzusetzen. Allerdings sollte von dieser Möglichkeit nur in seltenen Ausnahmefällen Gebrauch gemacht werden. Wie bereits beschrieben, darf in IDEALS Lernmaterial, sobald es einmal den Nutzungszustand erreicht hat, weder gelöscht noch geändert werden. Das gilt auch dann, wenn erkannt wird, daß Lernmaterial fehlerhaft bzw. veraltet ist. Allerdings kann Lernmaterial als ‚faulty‘ oder ‚obsolete‘ markiert werden. In IDEALS MTS hat es keine weiteren Auswirkungen, wenn Lernmaterial als ‚faulty‘ oder ‚obsolete‘ markiert ist. Es würde sich aber anbieten, daß derartig markiertes Lernmaterial beim Mapping übergangen wird oder daß das Kurslaufzeitsystem den Schüler informiert, wenn er solches Lernmaterial verwendet.

4.5.2 Erkenntnisse aus IDEALS

Wie man dem vorherigen Abschnitt entnehmen kann, unterstützt IDEALS alle wesentlichen Funktionalitäten einer Lernmaterialverwaltung. Die Erfahrungen aus dem praktischen Betrieb geben jedoch Hinweise auf Verbesserungsmöglichkeiten.

Registrierung von Lernmaterial

Es wurde schon angesprochen, daß Lernmaterial, bevor es für ein Lernsystem nutzbar ist, erst registriert werden muß, d.h. ihm muß ein global eindeutiger Name zugeordnet werden, und seine Metadaten müssen spezifiziert werden. Die Erfahrungen in IDEALS haben gezeigt, daß man diese beiden Schritte sorgfältig trennen sollte.

In IDEALS wird, wenn neues Lernmaterial in der Datenbank angelegt wird, zugleich eine Selbstbeschreibung angelegt. Erstellt der Autor einen neuen Course Node mit der integrierten Autorenumgebung, dann wird er explizit zur Eingabe einer Selbstbeschreibung aufgefordert; importiert er Lernmaterial über die Komponente zur Lernmaterialverwaltung, dann wird automatisch eine Default-Selbstbeschreibung angelegt. Die Verwaltungskomponente erlaubt es, die Selbstbeschreibungen nachträglich zu ändern.

Lernmaterial in einem Schritt zu registrieren macht dann Sinn, wenn die Materialdaten bereits in endgültiger Form vorliegen. Bei der Registrierung werden diese mit den Metadaten verknüpft. Danach beginnt bereits die Nutzung des Lernmaterials. Damit ein Autor Lernmaterial, an dem er arbeitet, mit dem Lernsystem testen kann, muß es registriert sein. Daher erfolgt in der Praxis die Registrierung von Lernmaterial in der Regel nicht als Abschluß der Lernmaterialerstellung sondern bereits sehr früh während der Lernmaterialerstellung. Zu diesem Zeitpunkt kann sich Lernmaterial noch signifikant ändern, und es steht in keiner Weise fest, ob das Lernmaterial Bestand hat oder verworfen wird. Daher und weil zu diesem Zeitpunkt dem Autor vor allem daran gelegen ist, das Lernmaterial möglichst schnell zum Testen und Weiterentwickeln verfügbar zu machen, ist es aus psychologischen Gründen kein guter Zeitpunkt für die Beschreibung der Metadaten. Bringt man, wie in IDEALS geschehen, die Autoren dazu, dies dennoch zu diesem Zeitpunkt zu tun, dann lassen diese es bei der Erstellung der Metadaten oft an der notwendigen Sorgfalt fehlen. Im Einzelfall kann dies soweit gehen, daß sinnlose Daten verwendet werden. Da Selbstbeschreibungen auch nachträglich noch geändert werden können, sollte dies eigentlich kein Problem sein, aber das Wissen, daß, rein formal gesehen, bereits alle Schritte der Registrierung ausgeführt wurden und das Lernmaterial ja bereits über eine Selbstbeschreibung verfügt und über den logischen Namen schon partiell nutzbar ist, verführt Autoren dazu, die eigentlich notwendige Korrektur der Metadaten zu unterlassen und so fehlerhafte Datenbestände zu provozieren.

Es ist daher anzuraten, die Registrierung in zwei Schritte zu unterteilen. Schritt eins ist die Zuordnung eines logischen Namens zu den Materialdaten. Dadurch wird ermöglicht, daß das Lernsystem über statische Referenzen bereits auf das Lernmaterial zugreifen kann und der Autor das Lernmaterial somit testen kann. Dieser Schritt erfolgt zu Beginn der Lernmaterialerstellung. Schritt zwei ist die Erstellung einer Selbstbeschreibung für das Lernmaterial zu den Materialdaten. Dieser Schritt erfolgt, wenn die Erstellung des Lernmaterials kom-

1. Indem man die Zustandsänderung einem Administrator überträgt und nicht dem Reviewer, ist es auch möglich, Lernmaterial von mehreren Reviewern begutachten zu lassen.

plett abgeschlossen ist. Verknüpft man diesen Schritt mit dem Übergang von dem Entwurfszustand in den Review- bzw. den Nutzungszustand, dann läßt sich sicherstellen, daß Autoren für ihr Lernmaterial auch tatsächlich eine Selbstbeschreibung anlegen. Realisiert man den Zugriff auf Lernmaterial wie in Abschnitt „Realisierung des Materialzugriffs“ auf Seite 67 beschrieben und organisiert die Datenbank wie auf Seite 69 beschrieben, dann läßt sich diese zweigeteilte Registrierung ohne Probleme umsetzen. Mit dem Werkzeug für den zweiten Schritt lassen sich Lernmaterial auch weitere Selbstbeschreibungen zuzuordnen. Dabei ist allerdings zu beachten, daß, um die eindeutige Zuordnungsbarkeit von Lernmaterial zu Metadaten gewährleisten zu können, dabei auch ein weiterer logischer Name angelegt werden muß, unter dem das Lernmaterial dann angesprochen werden kann.

Versionsmanagement

Wenn Lernmaterial über einen längeren Zeitraum genutzt werden soll, wird es jedoch nicht ausbleiben, daß der Bedarf entsteht, bestehendes Lernmaterial zu ändern. Sei es um Fehler zu korrigieren, die nachträglich entdeckt wurden, oder um den Inhalt zu aktualisieren. Einer der Vorteile der Verwendung von global eindeutigen Namen, die von einer Systemkomponente (Lernmaterialbroker) auf physikalische Namen abgebildet werden, ist, daß man die Materialdaten, auf die ein logischer Name verweist, leicht umdefinieren kann (siehe Abschnitt „Realisierung des Materialzugriffs“). Damit ist es aber technisch problemlos möglich, Lernmaterial durch eine neue Version auszutauschen. Es ist nicht erforderlich, die alten Materialdaten zu überschreiben, d.h. wenn mehrere Lernmaterialien dieselben Materialdaten verwenden, kann man auch selektiv Lernmaterial ändern. Greift der Schüler auf geändertes Lernmaterial zu, dann übernimmt sein Lernmaterial ohne sein Zutun alle Korrekturen und Aktualisierungen. In IDEALS MTS ist die automatische Aktualisierung von Materialdaten zwar technisch möglich, aber neue Materialdaten ersetzen dabei die alten Materialdaten, und die alte Version ist nicht mehr länger verfügbar. Abhilfe würde es schaffen, wenn man unterschiedliche Versionen von Lernmaterial zuließe.

Die Unterscheidung von verschiedenen Versionen ist vor allem in Zusammenhang mit statischen Referenzen von Bedeutung. Um dem Autor die Möglichkeit zu geben, zu entscheiden, welche Version er verwenden will, muß man die statischen Referenzen (logischen Namen) um eine optionale Versionsnummer erweitern. Gibt der Autor diese Versionsnummer an, dann erhält er auch immer die entsprechende Version des Lernmaterials. Verzichtet er auf die Angabe der Versionsnummer, dann wird immer die aktuellste Version verwendet. Dazu sind nur minimale Änderungen in der Realisierung des Lernmaterialbrokers notwendig. Auch alle in Abschnitt „HTML-konforme Repräsentation von Referenzen“ vorgestellten Techniken, statische Referenzen HTML-konform darzustellen, lassen sich so erweitern, daß auch eine Versionsnummer angegeben werden kann.

Dynamische Referenzen sind von der Einführung eines Versionsmanagements kaum betroffen, weil ein Autor dynamische Referenzen nur dann verwenden wird, wenn es für ihn unerheblich ist, wie referenziertes Lernmaterial seine Funktion realisiert. Unterschiedliche Versionen sollten sich aber nur in Details dieser Realisierung unterscheiden. Daher kann bei dynamischen Referenzen davon ausgegangen werden, daß der Autor an der aktuellsten Version interessiert ist. Allerdings müssen die Metadaten um Elemente zur Beschreibung der Versionen erweitert werden. Auch sollte es möglich sein, einzelne Versionen als fehlerhaft bzw. veraltet zu markieren.

Der Reviewprozeß

Soll Lernmaterial gemeinsam entwickelt, ausgetauscht und wiederverwendet werden, dann ist ein gewisses Maß an Organisation und Administration unabdingbar. Auf die Problematik des einheitlichen Wortschatzes bei Metadaten wurde schon in Abschnitt „4.3.2 Selbstbeschreibungen in MTS“ eingegangen. Ein anderer Aspekt ist die Qualitätssicherung. Sowohl Trainingsprovider als auch Schüler wünschen sich eine Zertifizierung von Lernmaterial, die verlässliche Auskunft gibt über dessen Qualität.

Eine offene Frage ist jedoch, nach welchen Kriterien sich die Qualität von Lernmaterial beurteilen läßt. Da kein allgemein akzeptiertes Verfahren existiert, um die inhaltliche Güte¹ von Lernmaterial objektiv zu beurteilen, versucht man sich in der Praxis oft damit zu behelfen, daß man die Qualität der Umsetzung bewertet. Hierfür gibt es neben eher abstrakten Kriterien wie sachliche Korrektheit, Verständlichkeit und Vollständigkeit auch technisch orientierte Kriterien, wie Sauberkeit der Implementierung, Vorhandensein und Güte der Dokumentation, Übereinstimmung mit bekannten und bewährten Entwurfsmustern und Korrektheit der Metadaten. Die Überprüfung dieser Kriterien erfordert menschliche Experten. Diese menschlichen Experten sind eine sehr beschränkte Ressource und stellen daher einen Flaschenhals dar, von dem der gesamte Reviewprozeß abhängt. Dies ist vergleichbar mit den menschlichen Lehrern beim Lernen. Aber anders als beim Lernen ist

1. d.h. wie gut sich mit diesem Lernmaterial das Wissen Schülern vermittelt läßt

es noch nicht gelungen, die Expertise eines menschlichen Reviewers oder zumindestens Teile davon in ein Stück Software zu transformieren und so den Flaschenhals zu umgehen.

Qualitätssicherung ist ein wichtiges Anliegen in IDEALS. Das Lernmaterialkonzept von IDEALS sieht deshalb auch einen formalen Reviewprozeß vor und unterstützt dies auch in der Implementierung (siehe Abschnitt 4.5.1). Dafür übernimmt IDEALS das Vorgehen, das wissenschaftliche Verlage bei der Beurteilung wissenschaftlicher Veröffentlichungen verwenden: Ob Material veröffentlicht wird oder nicht, hängt ab von der Bewertung eines menschlichen Experten (Reviewer). Allerdings hat sich bereits im Testbetrieb mit einer relativ kleinen Zahl von kooperierenden Partnern gezeigt, daß dieser Ansatz mit einer Reihe von Problemen verbunden ist.

Da ist zunächst das bereits angesprochene Problem der Verfügbarkeit von Reviewern. Verschärft wird dieses Problem noch dadurch, daß der Review für Lernmaterial komplexer ist als etwa der für eine Veröffentlichung, denn er erfordert größeres technisches Detailwissen und spezielle Werkzeuge. Anders als eine Veröffentlichung ist Lernmaterial nicht statisch und sein Verhalten läßt sich nicht durch eine einmalige ‚Sichtinspektion‘ beurteilen. Schon bei Veröffentlichungen ist die Dauer des Reviewprozesses ein Problem. Da Lernmaterial komplexer zu beurteilen ist und höhere Anforderungen hat, was die Expertise des Reviewers angeht, ist die Situation dort noch kritischer.

Eine Möglichkeit, die Komplexität des Reviewprozesses in den Griff zu bekommen, ist die Verwendung einer Art Typenprüfung. Dahinter steht die Idee, nicht für jedes Lernmaterial einen individuellen Review durchzuführen, sondern auszunutzen, daß in Lernmaterial immer wieder dieselben Design Patterns eingesetzt werden (siehe Abschnitt „Wiederverwendung von Design Patterns“ auf Seite 28). Zunächst erfolgt der Review eines Design Pattern als solches, d.h. unabhängig von einer bestimmten Verwendung. Weil dies auf einer abstrakten Ebene geschehen muß, ist der Review eines Design Pattern komplexer als der Review von konkretem Lernmaterial. Allerdings muß man diesen Aufwand nur ein einziges Mal pro Design Pattern betreiben. Der Review von Lernmaterial, das ein bekanntes¹ Design Pattern realisiert, kann dann zurückgeführt werden auf die Überprüfung, ob das Lernmaterial eine korrekte Umsetzung des Design Pattern ist. Der Begriff korrekt bezieht sich in diesem Zusammenhang nur auf die technischen Aspekte. Die inhaltliche Korrektheit der Art und Weise, wie das Design Pattern verwendet wird, muß in jedem Fall auch noch überprüft werden. In der Regel ist die Überprüfung, ob ein Lernmaterial ein bestimmtes Design Pattern realisiert, bedeutend einfacher durchzuführen als ein vollständiger Review des Lernmaterials. Bei generischem Lernmaterial ist sogar sichergestellt, daß es sich bei diesem immer um eine korrekte Umsetzung des Design Pattern handelt. Daher genügt in diesem Fall der Review der generischen (parametrisierbaren) Implementierung. Für Lernmaterial, das mit Hilfe von Wizards oder als Abwandlung von Beispiellernmaterial erstellt wurde, lassen sich Werkzeuge entwickeln, mit denen die Überprüfung automatisch durchgeführt werden kann.

Speziell für die Realisierung in IDEALS gilt:

Das in IDEALS MTS implementierte Life-Cycle-Modell ist eine direkte Umsetzung der konkreten Vorstellungen und Konzepte von IDEALS [77]. Einerseits lassen sich diese Konzepte dadurch gut unterstützen, aber andererseits bedeutet dies auch eine Beschränkung auf genau diese Konzepte. Ein Beispiel dafür ist der Reviewzustand. Lernmaterial kann erst dann von den Schülern genutzt werden, nachdem es diesen Zustand durchlaufen hat. Das ist eine adäquate Vorgehensweise, wenn man durch einen Reviewprozeß sicherstellen will, daß nur Lernmaterial verfügbar ist, das gewissen Ansprüchen genügt. Will man es jedoch der Verantwortung der Autoren überlassen, was sie als Lernmaterial bereitstellen, dann ist der Reviewzustand und die Unterstützung auf Systemebene unnötig und bedeutet nur eine unnötige Erschwerung. Dabei fällt auf, daß in IDEALS MTS ein zentraler Aspekt für den Reviewprozeß überhaupt nicht unterstützt wird, die Dokumentation. Es wäre wünschenswert, für Lernmaterial neben den Metadaten auch die Dokumentation in der Datenbank abzulegen.

Daß in IDEALS eher ein zentralistischer Ansatz verfolgt wird, zeigt sich auch daran, daß Lernmaterial für alle LTCs verfügbar ist, sobald es den Reviewprozeß durchlaufen hat. Dies impliziert jedoch die Existenz von globalen Reviewkriterien. Es ist jedoch fraglich, ob es wirklich möglich ist, global gültige Reviewkriterien zu finden, die die Bedürfnisse aller Partner adäquat widerspiegeln. Eventuell wäre es vorteilhafter, wenn jedes LTC seine Standards selbst definieren dürfte und auch selbst für die Einhaltung der Standards zu sorgen hätte. Da der Austausch von Material allen Beteiligten Vorteile bringt, werden sich globale Standards dadurch entwickeln, daß sich mehrere Partner zusammenschließen und ihre eigenen Standards mit der Zeit immer mehr angleichen.

Für die Implementierung eines Lernsystems würde ein Übergang zu einem solchen, mehr Peer to Peer orientierten, Ansatz bedeuten, die Lernmaterialverwaltung könnte sich auf die Bereitstellung der essentiellen Funk-

1. bekannt in dem Sinn, daß für dieses Design Pattern bereits ein Review durchgeführt wurde

tionalitäten (Zuweisung von logischen Namen, Versionsmanagement und Zuordnung von Metadaten) beschränken. Die Umsetzung des Reviewprozesses würde dann komplett in die organisatorische Ebene verlagert. Mit einem solchen Ansatz würde zum einen der notwendige Implementierungsaufwand reduziert und den einzelnen Partnern (LTCs) mehr Freiheiten gegeben, in der Art und Weise, wie sie ihr Lernmaterial verwalten und dessen Qualität sicherstellen.

4.6 Benutzerprofileinträge

Neben den Selbstbeschreibungen für Lernmaterial sind auch die Metadaten für den Benutzer (Benutzerprofil) für ein Kurslaufzeitsystem von Bedeutung. Anders als bei Metadaten für Lernmaterial greift das Kurslaufzeitsystem nicht nur lesend auf die Benutzermetadaten zu, sondern erzeugt auch welche. Die Kurssteuerungskomponente erzeugt die Benutzerprofileinträge, die Auskunft darüber geben, welches Lernmaterial ein Schüler bearbeitet hat, und den dabei erzielten Lernerfolg. Durch die Auswertung dieser Benutzerprofileinträge kann ein Tutor bzw. ein Lehrer den Wissenstand eines Schülers beurteilen. Daneben enthält ein Benutzerprofil auch noch weitere allgemeinere Informationen über einen Schüler, die zur Steuerung des Kursablaufs verwendet werden können und auf die die Kurssteuerung jedoch nur lesend zugreifen kann. Dazu gehören neben administrativen und organisatorischen Informationen über den Schüler (z.B. Name, Anschrift und Abrechnungsdaten) auch Informationen über generelle Fähigkeiten und Vorlieben, die für die Durchführung des Lernprozesses von Bedeutung sind, z.B. welche Sprachen er spricht oder welche Kursformen er bevorzugt.

Für ein Lernsystem mit modularem oder austauschbarem Lernmaterial ist die Existenz einer allgemeinen Benutzerprofilkomponente eine essentielle Notwendigkeit. Indem sie eine einheitliche Schnittstelle und ein einheitliches Datenmodell bereitstellt, ermöglicht sie es Lernmaterial, auf Benutzerprofilinformationen zuzugreifen, unabhängig davon, in welchem Kurs das Lernmaterial eingesetzt wird. Ein weiterer Vorteil ist, daß Lernmaterial so auf alle Informationen zugreifen kann, die über einen Schüler verfügbar sind und nicht auf solche Informationen beschränkt ist, die im Verlauf des Kurses gesammelt wurden.

Dieser Abschnitt befaßt sich nur mit der Schnittstelle zwischen Kurslaufzeitsystem und Benutzerprofil. Es wird darauf eingegangen, welche Anfragen an das Benutzerprofil möglich sind, und wie die Kurssteuerung neue Einträge anlegt. Auf andere Fragestellungen wie etwa die Auswertung von Benutzerprofilen durch Tutoren, Lehrer und auch Autoren¹ und Benutzerprofile beim Gruppenlernen wird nicht eingegangen. Details zu der Realisierung der Benutzerprofile findet man in [85].

4.6.1 Benutzerprofilfunktionalität in IDEALS

In IDEALS MTS muß sich jeder Schüler gegenüber dem System authentisieren, bevor er mit dem Lernmaterial arbeiten kann. Ein Hauptgrund dafür ist, daß so für jeden Schülers ein individuelles Benutzerprofil geführt werden kann. Die Benutzerprofildaten werden in der Datenbank auf dem MTS-Server abgelegt. Jedesmal, wenn ein Course Node oder eine LFU verlassen wird, legt die Kurssteuerung einen neuen Benutzerprofileintrag an. Dieser Eintrag enthält den global eindeutigen logischen Namen des Lernmaterials, den Zeitpunkt des Verlassens und auch eine Bewertung des Lernerfolgs. Wegen des in IDEALS verwendeten Content Aggregation Modells (siehe Abbildung 21), gibt ein logischer Name nicht nur darüber Auskunft, welches Lernmaterial verwendet wurde, sondern er beinhaltet auch die Information, welche Absicht (Lernziel) mit der Verwendung des Lernmaterials verfolgt wurde (Metadaten). Während die Kurssteuerung die beiden ersten Informationen selbstständig ermitteln kann, benötigt sie für die Bewertung die Unterstützung des Autors. IDEALS MTS stellt daher Mechanismen bereit, mit denen Course Nodes und LFUs Bewertungen an die Kurssteuerungskomponente übergeben können. Bei LFUs geschieht dies durch die Funktion `SetRating()` aus dem `CtrlPanel` API (siehe Tabelle 5). Für Course Nodes gibt es eine analoge Funktion in der CDL. Übergibt ein Autor in seinem Lernmaterial keine Bewertung, dann wird ein Defaultwert in das Benutzerprofil übernommen. Ursprünglich konnten nur Bewertungen für den aktuellen Course Node bzw. die aktuelle LFU übergeben werden. Mittlerweile wurde dies jedoch so erweitert, daß in einem Course Node auch Benutzerprofileinträge für beliebige Course Nodes bzw. LFUs erzeugt werden können.

MTS stellt auch Funktionen bereit, mit denen sich erfragen läßt, ob der Schüler bestimmtes Lernmaterial bereits bearbeitet hat, oder welche Bewertung für dieses Lernmaterial im Benutzerprofil abgelegt ist. Dabei bezieht sich der Autor jedoch auf konkretes Lernmaterial. Für einen Autor ist jedoch mehr von Relevanz, welches Wissen ein Schüler auf einem bestimmten Themengebiet hat, als mit welchem Erfolg er bestimmtes Lernmaterial absolviert hat. Es wird daran gearbeitet, auch dafür eine entsprechende Funktionalität in IDEALS MTS bereitzustellen.

1. Statistische Information darüber, welches Lernmaterial von den Schülern genutzt wird, wie es genutzt wird und welcher Lernerfolg damit erreicht wird, ist eine wichtige Informationsquelle für die Wartung und Pflege des Lernmaterials.

4.6.2 Unterscheidung von organisatorischen und inhaltlichen Benutzerprofileinträgen

Die Benutzerprofileinträge in IDEALS beschreiben vor allem, wie gut ein bestimmtes Lernmaterial dem Schüler Wissen vermittelt hat. Die Information, über welches Wissen ein Schüler verfügt, ist sicherlich von großer Bedeutung. Aber für eine detaillierte Analyse des Lernprozesses ist auch Information notwendig, die es erlaubt, den Verlauf der Wissensvermittlung nachzuvollziehen. Dazu reicht es nicht aus, mit einem Zeitstempel festzuhalten, wann die Bewertung erfolgt ist. Daher benötigt man im Benutzerprofil neben der inhaltlichen Ebene, die die Bewertungen für Lernmaterial enthält, auch eine organisatorische Ebene, die die Nutzung von Lernmaterial nachvollziehbar macht.

Da die Einträge auf der organisatorischen Ebene nur den Ablauf wiedergeben und inhaltliche Aspekte nicht von Bedeutung sind, können die Einträge automatisch von der Kurssteuerung angelegt werden. Immer, wenn ein signifikanter Punkt in dem Kursablauf erreicht wird, erzeugt die Kurssteuerung im Benutzerprofil einen entsprechenden Eintrag. Tabelle 10 zeigt die zulässigen Einträge und gibt an, bei welcher Gelegenheit sie erzeugt werden. Jeder dieser Einträge enthält die folgenden Informationen: den logischen Namen des Lernmaterials, auf das sich der Eintrag bezieht, den Zeitpunkt, an dem der Eintrag angelegt wurde (Zeitstempel), und eine eindeutige SessionID¹.

Profileintrag	Beschreibung
OnEnter	Es wurde mit der Ausführung des Lernmaterials begonnen.
OnLeave	Das Lernmaterial wurde ordnungsgemäß beendet.
OnExit	Die Bearbeitung des Lernmaterials wurde vorzeitig abgebrochen, entweder auf Wunsch des Schülers oder wegen eines Fehlers im Kurslaufzeitsystem. Der Grund des Abbruchs wird als zusätzliche Information in dem Profileintrag abgelegt.
OnSuspend	Der Kurs wurde unterbrochen und soll später wieder fortgesetzt werden.
OnResume	Ein unterbrochener Kurs wurde fortgesetzt.

Tabelle 10. Benutzerprofileinträge (organisatorische Ebene)

Anhand dieser Informationen lassen sich die Aktionen des Schülers nachvollziehen. Die Auswertung dieser Daten kann einem Tutor wichtige Einsichten in das Verhalten des Schülers vermitteln. Ein Autor wird in der Regel nicht auf organisatorische Informationen zugreifen. Für ihn ist eher von Interesse, verhindern zu können, daß bestimmtes Lernmaterial mehrfach verwendet wird (z.B. dieselbe Testlerneinheit). Dazu eignet sich jedoch besser die Information auf der inhaltlichen Ebene. Während auf der organisatorischen Ebene das Erzeugen eines Benutzerprofileintrages automatisch vom System initiiert wird, muß auf der inhaltlichen Ebene der Autor dies explizit veranlassen. Denn nur der Autor weiß, wie die Bewertung für ein bestimmtes Thema berechnet werden kann, nur er weiß auch, wann genügend Informationen vorhanden sind, um diese Bewertung anstellen zu können. Es wäre wünschenswert, daß ein Autor auch Bewertungen für ein ganzes Themengebiet erfragen kann. Tabelle 11 listet die Funktionen auf, die auf der inhaltlichen Ebene zum Erzeugen und Abfragen von Benutzerprofilinformationen verfügbar sein sollten.

Nachricht	Beschreibung
SetRating(<Bewertung>)	setzt Bewertung für das aktuelle Lernmaterial
SetRating(<logischerName>,<Bewertung>)	setzt Bewertung für das ein bestimmtes Lernmaterial
GetRating(<logischerName>)	erfragt die Bewertung für ein bestimmtes Lernmaterial
Evaluate(<Inhalt ^a >)	erfragt die Bewertung für ein bestimmtes Thema

Tabelle 11. Benutzerprofilfunktionen (inhaltliche Ebene)

- a. Hier stellt sich die Frage, wie sich das Thema spezifizieren läßt. Eine Möglichkeit hierzu wäre, die Angabe einer statischen Referenz. Bei der Auswertung wird jedoch nicht nur das spezifizierte Lernmaterial berücksichtigt, sondern auch alle Lernmaterialien, die in ihren Metadaten das selbe Thema ausweisen.

1. Wird sichergestellt, daß jedesmal, wenn ein Schüler einen neuen Kurs beginnt oder einen unterbrochenen Kurs wieder aufnimmt, der Kurssession eine eindeutige SessionID zugeordnet wird, dann kann auch in dem Fall, daß ein Benutzer mehr als einen Kurs gleichzeitig bearbeitet, der Verlauf eines jeden Kurses aus den Benutzerprofildaten korrekt rekonstruiert werden.

In MTS hat Lernmaterial mit mehr als einer Selbstbeschreibung auch mehrere logische Namen. Jedem logischen Namen ist dabei eindeutig eine Selbstbeschreibung zugeordnet. Daher läßt sich bei der Verwendung eines Lernmaterials auch immer ermitteln, in welchem Kontext es verwendet wurde.

So ist Lernmaterial, das erläutert wie, man die Zahl π mittels der Monte-Carlo-Methode berechnen kann, eine Selbstbeschreibung mit Thema „Zufallszahlen (Monte-Carlo-Verfahren)“ und eine zweite mit Thema „Berechnung von π “ zugeordnet. Aus dem logischen Namen, mit dem das Lernmaterial referenziert wird, ergibt sich, welche der beiden Selbstbeschreibungen die relevante ist. Wenn einem Schüler jedoch dieses Lernmaterial in einem Kurs zum Thema Stochastik präsentiert wird, dann lernt er sicherlich etwas zum Thema „Zufallszahlen (Monte-Carlo-Verfahren)“. Aber quasi als Seiteneffekt wird er auch etwas zum Thema „Berechnung von π “ lernen. Wenn man dies auch so im Benutzerprofil ablegen wollte, dann würde das bedeuten, Lernmaterial würde nicht nur dem Thema zugeordnet, das der Autor vermitteln wollte, sondern allen Themen, die sich mit ihm vermitteln lassen. Das hätte jedoch Auswirkungen auf das Content Aggregation Modell. Aus den n:1 Relationen zwischen Metadaten und Materialdaten (siehe Abbildung 21 auf Seite 53) würden dann n:m Relationen. Jedes Lernmaterial bräuchte nur noch einen logischen Namen. Mit dieser Möglichkeit läßt sich mit den Benutzerprofildaten gut nachvollziehen, über welches Wissen ein Schüler verfügt. Geht es aber darum, anhand der Benutzerprofildaten den Erfolg eines Kurses abzuschätzen, d.h. wie weit die Absichten erfüllt wurden, die der Autor mit dem Lernmaterial verfolgt, dann spielen kontextspezifische Metadaten eine große Rolle und diese lassen sich besser mit dem originalen MTS Content Aggregation Modell und seinen n:1 Relationen abbilden. Allerdings ist es dann nicht möglich, abzubilden, daß durch den Einsatz von Lernmaterial Wissen zu mehreren Themen vermittelt wurde.

4.7 Kurslaufzeitsystem

Die Kursablaufsteuerung ist eine der zentralen Laufzeitkomponenten für ein Lernsystem. Ein Problem mit konsequent modulare Lernmaterial ist die Realisierung von globalen Kursfunktionalitäten, wie z.B. der Kursnavigation. In einem monolithischen Kurs kennt der Autor alle Bestandteile eines Kurses und kann den Code für diese Funktionalitäten daher auf die einzelnen Elemente verteilen. Er kann bei der Realisierung dieser Funktionalitäten diese daher auch speziell an den jeweiligen Kurs anpassen. Bei modulare Lernmaterial dagegen gibt es keine festen Kurse mehr. Ein Autor kann beim Erstellen von Lernmaterial nicht vorhersagen – und soll bei der Gestaltung auch keine derartigen Annahmen machen – wo und wie sein Lernmaterial eingesetzt werden wird. Daher ist er auch nicht in der Lage, die globalen Funktionalitäten zu realisieren. Der einzige Weg, solche globalen Kursfunktionalitäten mit modulare Lernmaterial zu realisieren, ist, für diese allgemeine Mechanismen als Bestandteil der Lernumgebung bereitzustellen. Die Kursablaufsteuerung, im folgenden auch als Kurssteuerung bezeichnet, ist für die Ausführung des Lernmaterials zuständig. Dazu muß sie zur Laufzeit die Kursstruktur ermitteln und verwalten. Sie ist daher die logische Wahl für die Realisierung solcher Kursfunktionalitäten. Für diese stellt sie alle grundlegenden Funktionen und abstrakten Schnittstellen zur Verfügung und übernimmt als zentrale Komponente die Koordination.

Dieser Abschnitt stellt die wichtigsten dieser globalen Kursfunktionalitäten vor und geht darauf ein, was die spezifischen Probleme bei der Verwendung von modulare Lernmaterial sind. Auch auf die Frage, wie sich die Kursablaufsteuerung realisieren läßt, wird eingegangen.

4.7.1 Kursfunktionalitäten

Die wichtigste Funktionalität ist ohne Zweifel die *Kursnavigation*, die sich wie folgt definieren läßt:

Definition 20: Die *Kursnavigation* umfaßt alle Elemente in der Benutzungsschnittstelle und die zugehörige Funktionalität in der Kurssteuerung, mit denen der Schüler den Kursverlauf innerhalb der vom Autor vorgegeben Möglichkeiten beeinflussen kann.

Ein typisches Element der Kursnavigation ist der ‚Next-Button‘, d.h. eine Möglichkeit für den Schüler, anzuzeigen, daß er die Bearbeitung eines Lernschritts abgeschlossen hat und daß das Lernsystem zu der Präsentation der nächsten Lerneinheit übergehen soll. Eine andere häufig anzutreffende Funktionalität ist die Auswahl einer von mehreren Alternativen für den weiteren Verlauf des Kurses. Wie die Kursnavigation aussehen muß, hängt auch davon ab, welche Navigationsmetapher verwendet wird. In einem System mit modulare Lernmaterial sollte alles Lernmaterial mit beliebigen Navigationsmetaphern kombinierbar sein. Das bedeutet aber auch, daß ein Autor nicht in der Lage ist, die Benutzungsschnittstelle für die Kursnavigation als Bestandteil des Lernmaterials zu realisieren. Daher muß diese Aufgabe vom Kurslaufzeitsystem übernommen werden.

Die Kursnavigation ist sicherlich die elementarste Kursfunktionalität und muß in jeden Fall realisiert werden. Daneben gibt es jedoch noch weitere Kursfunktionalitäten.

- ▶ **Suspend/Resume.** Für die praktische Anwendung ist diese Funktionalität fast genauso wichtig wie die Kursnavigation. Denn sobald Kurse einen solchen Umfang annehmen, daß der Schüler sie mehr nicht innerhalb einer Session bearbeiten kann, muß dem Schüler eine Möglichkeit zur Verfügung gestellt werden, einen Kurs an einer beliebigen Stelle unterbrechen und den aktuellen Zustand persistent abspeichern zu können (Suspend), so daß er zu einem späteren Zeitpunkt den abgespeicherten Zustand wiederherstellen und er mit der Bearbeitung des Kurses quasi nahtlos an der Stelle weitermachen kann (Resume), an der er den Kurs unterbrochen hatte.
- ▶ **Inhaltsverzeichnis.** Für einen Schüler ist es äußerst hilfreich, wenn er sich jederzeit einen Überblick verschaffen kann, wie der Kurs aufgebaut ist und vor allem wo in dieser Struktur er sich im Augenblick gerade befindet und eventuell auch, welche Teile des Kurses er bereits bearbeitet hat.
- ▶ **Freie Navigation.** Insbesondere erfahrene Schüler sollte man nicht dazu zwingen sich, was den Kursverlauf angeht, sklavisch an den vom Autor vorgegebenen Ablauf zu halten. Führung ist wichtig für Schüler, die neu auf einem Gebiet sind, aber erfahrenen Schülern, die ihre Bedürfnisse und Kenntnisse auf dem Gebiet richtig einzuschätzen vermögen, sollte man auch erlauben, von den Vorgaben abzuweichen und sich frei im Kurs zu bewegen und so direkt zu den Inhalten zu gelangen, die für sie von Interesse sind. Es liegt nahe, die Funktionalität für die freie Navigation als Erweiterung des Inhaltsverzeichnisses zu realisieren.
- ▶ **History.** Ein Historymechanismus erlaubt es einem Schüler, seine letzten Schritte in chronologischer Ordnung nachzuvollziehen¹. In den meisten Fällen erlaubt ein Historymechanismus auch, daß der Benutzer zu einem der aufgezeichneten Schritte zurückkehrt.
- ▶ **Lesezeichen.** Der Schüler kann relevante Stellen in einem Kurs mit einem Namen (Lesezeichen) versehen und unter Verwendung dieses Lesezeichens jederzeit wieder an diese Stelle des Kurses zurückkehren. Im Gegensatz zu Historyeinträgen erfordert die Definition eines Lesezeichens eine explizite Aktion von Seiten des Schülers. Dafür sind Lesezeichen aber auch dauerhaft.
- ▶ **Annotations.** Der Schüler kann eigene Anmerkungen zu existierendem Material hinzufügen. Diese Anmerkungen werden abgespeichert. Wenn er das Material später erneut bearbeitet, kann er sich die Anmerkungen wieder ansehen. In einer Lernumgebung ist es wünschenswert, dem Schüler auch Zugang zu den Anmerkungen anderer Schüler zu gestatten. Um klar zwischen persönlichen Notizen und öffentlichen Kommentaren unterscheiden zu können, sollte eine Lernumgebung sowohl private als auch öffentliche Anmerkungen unterstützen.
- ▶ **Kontextsensitive Hilfe.** Einem Schüler sollte es möglich sein, zu einem bestimmten Thema zusätzliche Erläuterungen anzufordern, die über das hinausgehen, was der Autor in dem normalen Lernpfad vorgesehen hat. Der Schüler kann dann kurzfristig den aktuellen Lernpfad verlassen, die zusätzlichen Hilfestellungen² bearbeiten und dann zu der Bearbeitung des aktuellen Lernpfades zurückkehren.
- ▶ **Zentrale Lernservices.** Ein Schüler benötigt ferner eine Benutzungsschnittstelle, über die er auf zentrale Lernservices zugreifen kann. Dazu gehört z.B. die Kommunikation mit einem Tutor oder der Zugang zu öffentlichen Bulletinboards. Die Kursablaufsteuerung sollte dabei die aktuelle Kurssituation berücksichtigen, d.h. den Schüler direkt mit dem für den Kurs zuständigen Tutor verbinden.

4.7.2 Realisierung der Kursablaufsteuerung in IDEALS

Im folgenden wird erläutert, wie die Kurssteuerungskomponente in IDEALS MTS realisiert ist und welche speziellen Lösungen zur Umsetzung der verschiedenen Kursfunktionalitäten notwendig und in IDEALS MTS implementiert sind. Es werden die relevanten Details der Implementierung vorgestellt sowie darauf hingewiesen, wo es Unterschiede zum WWW gibt.

Repräsentation der Kursstruktur

Im Gegensatz zum WWW ist ein Kurs nicht zustandslos. Das kommt daher, weil es bei Kursen eine übergeordnete Kursstruktur gibt. Der aktuelle Kurszustand entspricht im wesentlichen der Position in dieser Kursstruktur. Da die Verwaltung des Kurszustands die Hauptaufgabe der Kursablaufsteuerungskomponente ist, hat die Frage, wie die Kursstruktur intern repräsentiert wird, große Auswirkungen auf die Möglichkeiten und Beschränkungen der Kurssteuerung. Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten modularen Kurskonzept läßt sich

1. Bei einer History gibt es in der Regel eine maximale Obergrenze für die Anzahl der festgehaltenen Schritte. Wurde diese Obergrenze bereits erreicht und kommen weitere Einträge hinzu, dann werden die ältesten Einträge gelöscht. Da aber wegen der automatischen Aufzeichnung immer neue Einträge hinzukommen, wird früher oder später jeder Eintrag auch gelöscht werden.

2. Diese zusätzlichen Hilfestellungen werden ebenfalls vom dem Autor des Lernmaterials bereitgestellt. Beim Erstellen des Lernmaterials hat der Autor einen bestimmten Lernverlauf vor Augen. Dementsprechend gestaltet er auch sein Lernmaterial. Mit der Bereitstellung zusätzlicher Hilfestellungen kann er dafür sorgen, daß Schüler, die nicht seinen Vorstellungen entsprechen, dennoch in die Lage versetzt werden, dem vorgegeben Lernverlauf zu folgen.

die Kursstruktur als ein Baum repräsentieren. Die Knoten des Baumes bilden dabei die einzelnen Kursmodule, und die Kanten repräsentieren die Verwendet-Relationen zwischen den einzelnen Modulen und entsprechen somit den Referenzen. Abbildung 39 zeigt solch einen Kursbaum. Der aktuelle Kurszustand entspricht dann der Menge aller Kursmodule, die gerade in Bearbeitung sind. Dies wird in Abbildung 39 durch Hervorhebung der aktiven Module angedeutet. Da inhaltsbasierte Referenzen erst bei Bedarf aufgelöst werden, kann es vorkommen, daß einige Teilbereiche des Kursbaums auch während der Ausführung des Kurses noch unbestimmt sind. In der Abbildung ist dies durch den mit einem Fragezeichen versehenen Teilbaum dargestellt.

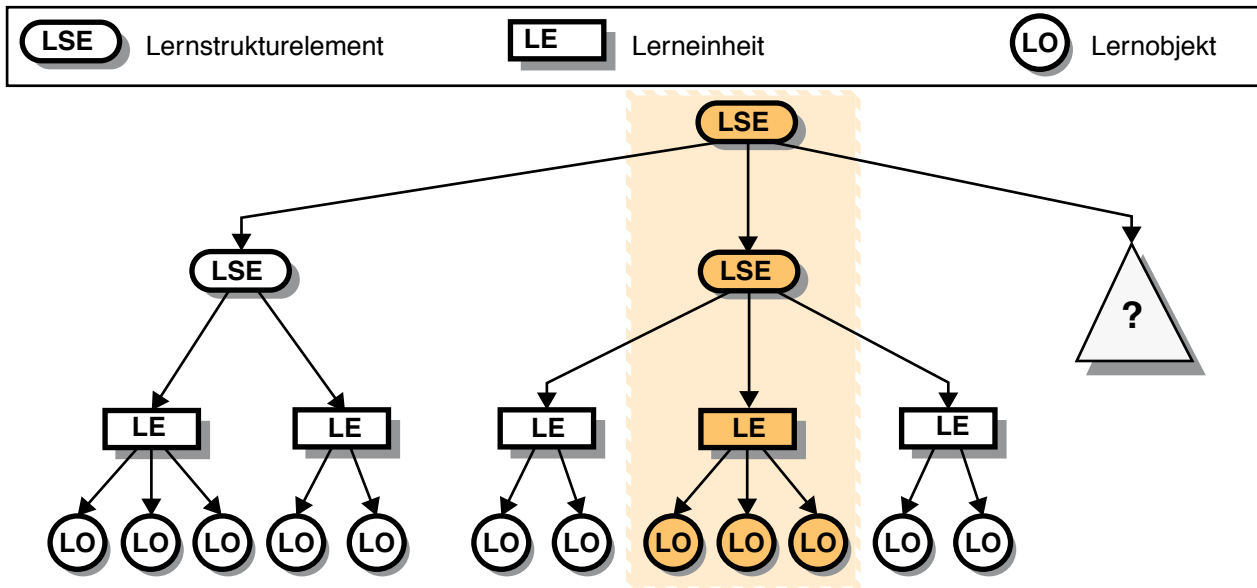


Abbildung 39. Kursstruktur und Kurszustand

Die Kurssteuerungskomponente kann diesen Kursbaum als interne Datenstruktur verwenden. In jedem Knoten lassen sich dann die zusätzlichen Daten ablegen, die für die Ausführung des zugehörigen Kursmoduls notwendig sind (Anordnung des referenzierten Lernmaterials). Zu Beginn eines Kurses wird als Wurzel das Lernstrukturelement angelegt, das den gesamten Kurs repräsentiert. Mit der Ausführung des Kurses werden mit der Zeit alle Referenzen traversiert und aufgelöst, wodurch nach und nach der vollständige Kursbaum aufgebaut wird¹. Da immer nur neue Knoten hinzugefügt werden, nimmt der Speicherbedarf stetig zu. Eine speicherplatzschonendere Alternative ist die Verwendung eines Kursstacks. Dieser Stack enthält nur die aktuell aktiven Kursmodule. Sobald mit der Ausführung eines Moduls begonnen wird, wird es auf den Stack gelegt, und sobald seine Ausführung beendet ist, wird es wieder vom Stack genommen. Der Inhalt des Kursstacks entspricht damit dem aktuellen Kurszustand.

Die Kurssteuerungskomponente in IDEALS MTS verwendet einen Kursstack zur Verwaltung des Kurszustandes. Da die Darstellung und Koordination der Lernobjekte die Aufgabe der Kursdarstellung und nicht der Kursablaufsteuerung ist, werden nur die Course Nodes und die LFUs auf den Stack gelegt.

Kursnavigation

In IDEALS übernimmt ein WWW-Browser die Kursdarstellung und Interaktion mit dem Benutzer. Die Kurssteuerung und die restlichen Funktionsblöcke sind auf dem Server realisiert (siehe Abbildung 15). Anders als in DEDICATED ist die Kursnavigation nicht Bestandteil der LFUs, sondern wird als eine eigenständige Systemkomponente mit separater Benutzungsschnittstelle parallel zu der Darstellung des aktuellen Kursinhaltes bereitgestellt. Diese Systemkomponente ist als Javaapplet realisiert und wird als *Control Panel* bezeichnet. Wenn die Durchführung einer Kurssteuerungsfunktionalität, die über das Control Panel initiiert wurde, spezifische Interaktionen zwischen Schüler und Kurssteuerung erfordert, dann geschieht dies durch die Darstellung von HTML-Seiten, die von der Kurssteuerungskomponente generiert werden. Auch Fehlermeldungen werden über HTML-Seiten dargestellt.

Ein Autor kann innerhalb einer LFU mittels JavaScript auf das Control Panel zugreifen. Auf die Details dieser Schnittstelle wurde bereits in Abschnitt „Learning Function Unit“ auf Seite 45 eingegangen. Daraus ergeben sich folgende Vorteile:

1. Genaugenommen wird nur der Teilbaum aufgebaut, den der Schüler auch tatsächlich besucht.

- ▶ Weil die Realisierung der Kursnavigation nicht Bestandteil des Lernmaterials ist, läßt es sich mit unterschiedlichen Navigationsmetaphern verwenden. LFUs koordinieren lediglich ihren internen Ablauf. Die Steuerung der Kursnavigation liegt ausschließlich in den Händen der Kurssteuerungskomponente.
- ▶ Daß die Systemkomponente in allen Kursen in derselben Form und mit derselben Funktionalität vorhanden ist, garantiert ein einheitliches Look-and-Feel für alle IDEALS-Kurse, und der Schüler muß sich nicht bei jedem Kurs mit einer neuen Benutzungsschnittstelle vertraut machen.
- ▶ Als Systemkomponente hat das Control Panel Zugriff auf die interne Darstellung des Kurszustands und zu der Information im Benutzerprofil. Damit verfügt das Control Panel über die notwendige Information zur Realisierung der unterschiedlichen Kursfunktionalitäten.
- ▶ Daß der Autor keine Benutzungsschnittstelle für die Kursnavigation realisieren, sondern die Funktionalität der Systemkomponente verwenden kann, bedeutet auch eine Arbeitsentlastung für ihn.
- ▶ Die Kommunikation zwischen LFU und Course Nodes erfolgt ausschließlich über die vom Control Panel zur Verfügung gestellte Schnittstelle. Damit wird die Austauschbarkeit aller Module sichergestellt.

Im IDEALS-MTS wird der Kursverlauf durch die Course Nodes vorgegeben. Der Schüler hat die Wahl zwischen den drei Alternativen, den Kurs mit dem nächsten Lernmaterial fortzusetzen, den Kurs ganz abzubrechen oder den Kurs zu unterbrechen, um ihn später wieder aufnehmen zu können (Suspend/Resume). Genau diese Alternativen werden dem Schüler über das Control Panel angeboten. Das Aussehen des Control Panels läßt sich nicht verändern. Es ist auch nicht möglich, die vorhandenen Funktionalitäten zeitweise zu deaktivieren, z.B. während eines Tests. Abbildung 40 zeigt die Darstellung eines IDEALS-Kurses. Man erkennt dort, daß der Darstellungsbereich in drei unterschiedliche Teilbereiche (Frames) zerfällt. Der Darstellungsbereich für den eigentlichen Kursinhalt (rechtes oberes Frame) nimmt dabei den Großteil des Platzes ein. Die beiden anderen Frames – beide erkenntlich am dunklen Hintergrund – enthalten die Benutzungsschnittstelle für MTS. Das rechte, untere Frame enthält die Steuerungselemente für die Kursnavigation (Control Panel, Weiter- und Beenden-Button¹). Das linke Frame enthält die Benutzungsschnittstelle für die globalen Lernservices.

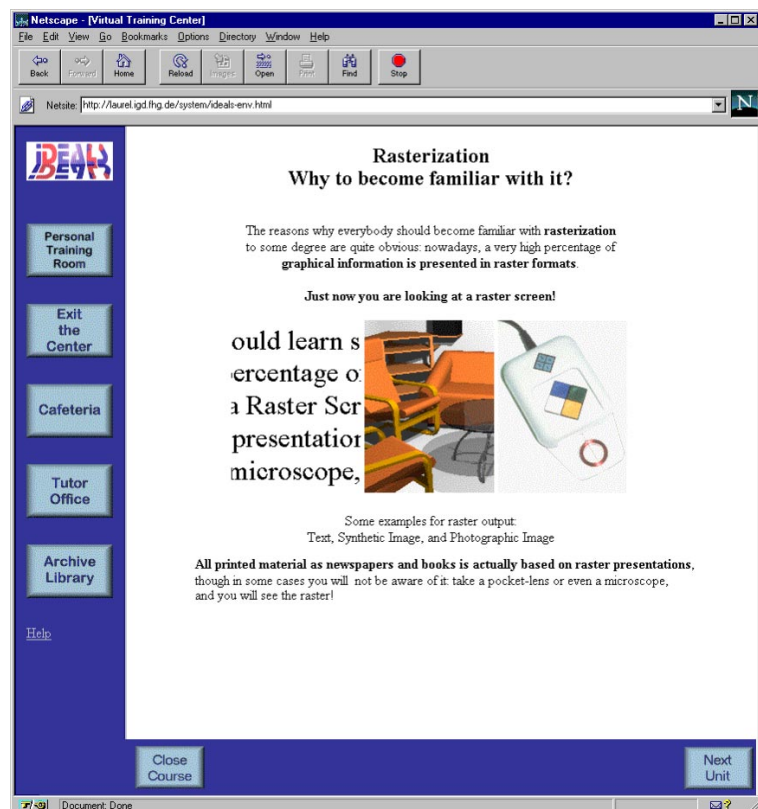


Abbildung 40. Beispiel IDEALS Kurslaufzeitumgebung

Wegen der Aufspaltung der Kursablaufsteuerung in eine clientseitige Komponente, das Control Panel, das die Benutzungsschnittstelle für die Kursnavigation bereitstellt, die Interaktion mit den Schüler handhabt und sich auch um die Kommunikation mit der auf der Serverseite implementierten Kurssteuerungskomponente kümmert, und eine serverseitige Komponente, die die eigentlichen mit der Kurssteuerung verbundenen Aufgaben wahrnimmt, hat man das Problem, daß die internen Zustände dieser beiden Teilkomponenten synchron gehalten werden müssen.

Es ist auch ein Problem, daß das WWW und MTS unterschiedliche Konzepte für die Ablaufsteuerung und damit für die Navigation haben. Im WWW kann ein Benutzer jederzeit zu jeder beliebigen URL springen, indem er diese von Hand eingibt, einen Link in der gerade dargestellten Seite verfolgt oder über den History-mechanismus des Browsers oder über ein Lesezeichen wieder zu einer bereits besuchten Seite zurückkehrt. All diese Möglichkeiten werden dem Benutzer auch vom Browser angeboten. Macht der Schüler während

1. Klickt der Benutzer den Beenden-Button, so wird ihm die Möglichkeit gegeben, den aktuellen Kurszustand zu speichern, um später wieder an dieser Stelle in den Kurs einsteigen zu können (Suspend/Resume).

eines Kurses von einer dieser Möglichkeiten Gebrauch, stimmt der im Browser dargestellte Inhalt nicht mehr mit dem aktuellen Kurszustand überein. Aus Sicht des MTS wäre es daher wünschenswert, die Benutzungsschnittstelle des WWW-Browsers für die Dauer des Kurses deaktivieren zu können und den Benutzer so zu zwingen, ausschließlich die vom Control Panel bereitgestellte MTS-spezifische Benutzungsschnittstelle und somit auch die MTS-spezifische Navigationsmetapher zu verwenden. So könnte das Control Panel sicherstellen, daß der Kurszustand in Übereinstimmung mit dem im Browser dargestellten Inhalt bleibt. Leider ist es jedoch nur möglich, einige der Elemente der WWW-Benutzungsschnittstelle zu Kursbeginn auszublenden. Der Schüler kann diese Elemente jedoch jederzeit wieder aktivieren, und somit jederzeit auf die gesamte WWW-Navigationsfunktionalität zugreifen. Für einen reibungslosen Kursablauf ist man daher auf das Wohlverhalten der Schüler angewiesen.

Suspend/Resume

Die Realisierung von Suspend/Resume ist relativ einfach: Wenn der Schüler über die Benutzungsschnittstelle ein Suspend veranlaßt, dann speichert die Kurssteuerung den aktuellen Inhalt des Kursstacks (aktuellen Kurszustand) unter einem vom Schüler gewählten Namen in der Datenbank ab. Bei einem Resume wird der Schüler zunächst nach dem Namen eines abgespeicherten Kurszustands gefragt und dann der alte Zustand aus den gespeicherten Daten wiederhergestellt. Das oberste Element auf dem Kursstack ist immer die aktuelle LFU, da die MOs, wie bereits erwähnt, von der Kursdarstellung verwaltet werden und nicht von der Kurssteuerung. Das bedeutet aber auch, daß der interne Zustand einer LFU nur der Kursdarstellung bekannt ist nicht aber der Kurssteuerung. Daher wird dieser nicht in der Datenbank abgelegt. Das bedeutet aber auch: Wenn ein Schüler einen Kurs wiederaufnimmt, findet er sich zwar in exakt der LFU wieder, in der er war, als er den Kurs unterbrochen hat, aber diese LFU befindet sich nicht in exakt dem Zustand, in dem er sie unterbrochen hat, sondern wieder in ihrem Initialzustand. Um zu ermöglichen, daß auch der LFU-Zustand bei einem Suspend abgespeichert und bei einem Resume wiederhergestellt werden kann, müßte man das CtrlPanel API um Funktionen erweitern, mit denen die Kurssteuerung den Zustand der LFU erfragen und setzen kann. Dazu braucht man eine Methode, um den Zustand einer LFU generisch darstellen zu können. Tabelle 12 zeigt eine mögliche Erweiterung des CtrlPanel API.

Funktion	Beschreibung
<code>String GetResumeValue(String name)</code>	Diese Funktion erlaubt die Abfrage eines Werts aus dem LFU-Zustand, der bei dem Suspend gespeichert wurde.
<code>void SetSuspendValue(String name, String value)</code>	Mit dieser Funktion kann der Kurssteuerung ein Wert aus dem LFU-Zustand übergeben werden, der bei dem Suspend in der Datenbank abgelegt werden soll.
<code>void PrepareSuspend()</code>	Wenn diese Funktion in der LFU definiert ist, wird sie von der Kurssteuerung aufgerufen, unmittelbar bevor der Kurszustand in der Datenbank abgelegt wird. Es wird erwartet, daß der Autor in dieser Funktion mit Hilfe der <code>SetSuspendValue()</code> Funktion den aktuellen Zustand der LFU an die Kurssteuerung übergibt.

Tabelle 12. Erweiterung des CtrlPanel API für Suspend/Resume

IDEALS MTS verfügt über keine Möglichkeit, zu verhindern, daß ein Schüler einen Kurs während eines Tests mit Zeitbeschränkung unterbrechen kann und so die Zeitbeschränkung umgehen kann. Auch im Benutzerprofil wird nur festgehalten, daß die LFU verlassen wurde, nicht aber unterschieden zwischen einem Suspend und einem Beenden der LFU.

Da sich zum Zeitpunkt der Wiederherstellung eines Kurses sowohl das Benutzerprofil des Schülers geändert haben kann als auch die Menge des verfügbaren Lernmaterials, kann dies im Fall von dynamischen Kursen zur Folge haben, daß sich der weitere Verlauf eines Kurses nach einer Wiederherstellung unterscheidet von dem Verlauf, den er genommen hätte, wenn es zu keiner Unterbrechung gekommen wäre.

Inhaltsverzeichnis und freie Navigation

Generell gilt für Inhaltsverzeichnisse bei modularem Lernmaterial: Da die Kursstruktur nicht an einer Stelle definiert ist, sondern sich erst zur Laufzeit des Kurses aus der Kombination der verschiedenen Module ergibt, kann ein Inhaltsverzeichnis für den gesamten Kurs nicht von dem Autor vorgegeben werden. Stattdessen muß es zur Laufzeit aus den aktuellen Daten der Kursablaufsteuerung erstellt werden. Dabei ist naheliegend, daß die Darstellung des Inhaltsverzeichnisses modular erfolgt, d.h. für jedes Modul gibt es ein eigenes Inhaltsverzeichnis, das nur die Struktur des Moduls darstellt. Referenzierte Module werden in dieser dabei als ein Element dargestellt. Allerdings läßt sich über dieses Element auf das Inhaltsverzeichnis des referenziertes

Moduls zugreifen. Auch unbestimmte Teilbäume sind mit diesem Ansatz kein Problem. Bei der Verwendung eines Kursstacks gibt es allerdings ein Problem mit dem Anzeigen von Inhaltsverzeichnissen von referenzierten Modulen, deren Bearbeitung bereits abgeschlossen ist und die daher nicht mehr auf dem Stack liegen. Enthält solch ein Modul dynamische Referenzen oder wird es über eine solche angesprochen, dann müssen diese erneut aufgelöst werden. Dabei kann es allerdings vorkommen, daß jetzt anderes Lernmaterial ausgewählt wird und daher für diesen Kursteil eine andere Struktur angezeigt wird als die, die der Schüler durchlaufen hat. In dieser Situation wäre die Verwendung eines Kursbaumes vorteilhafter, weil damit die Information, welche Module ausgewählt waren, noch verfügbar ist.

Es stellt sich auch die Frage, wie das Inhaltsverzeichnis erstellt wird. Eine Möglichkeit ist, dies der Kurssteuerung zu überlassen. Diese könnte z.B. die Struktur eines Course Nodes graphisch darstellen und dem Schüler präsentieren. Technisch ist das kein Problem (siehe Abbildung 18). Eine derartige Darstellung ist zwar geeignet für Autoren, aber für einen Schüler ist sie in aller Regel unverständlich. Alternativ hierzu könnte die Kurssteuerung einfach aus der Beschreibung des Course Nodes eine Liste aller Referenzen generieren und diese anzeigen. Für die Kurssteuerung wäre es ein Leichtes, durch entsprechende Benutzerprofilabfragen herauszufinden, ob referenziertes Lernmaterial bereits bearbeitet wurde, und diese Information auch darzustellen. Eine derartige Darstellung des Inhaltsverzeichnisses wäre für einen Schüler besser verständlich, aber auf diese Art läßt sich die Struktur eines Course Nodes nicht darstellen. Wegen dieser Beschränkungen und weil Autoren die Möglichkeit zur Gestaltung von Inhaltsverzeichnissen haben wollen, wurde in IDEALS MTS darauf verzichtet, Automatismen für die Erstellung von Inhaltsverzeichnissen bereitzustellen. Stattdessen ist vorgesehen, daß Autoren Inhaltsverzeichnisse als LFUs realisieren. Damit liegt es vollkommen in der Hand des Autors, wie er das Inhaltsverzeichnis realisiert. Aus Sicht der Kurssteuerung unterscheiden sich solche LFUs nicht von normalen LFUs. Inhaltsverzeichnisse können daher nur an vom Autor vorgegebenen Stellen im Kursablauf angezeigt werden. Wünschenswert wäre es, wenn ein Schüler jederzeit auf das Inhaltsverzeichnis zugreifen könnte. Dies ließe sich erreichen, wenn man CDL, wie in Abschnitt „Erweiterungen der CDL“ auf Seite 50 vorgeschlagen, um einen Exceptionmechanismus erweitert.

Ein derartiges Inhaltsverzeichnis läßt sich mit geringem Aufwand auch so erweitern, daß der Schüler nicht nur die Struktur des Kurses betrachten kann, sondern auch seine Position innerhalb des Kurses verändern kann (freie Navigation). Damit ist es einem Schüler möglich, von dem vom Autor vorgegebenen Kursverlauf abzuweichen. Einerseits ermöglicht dies den Schülern, schnell an die Stellen im Kurs zu gelangen, die für sie von Relevanz oder Interesse sind. Andererseits birgt die Möglichkeit, an jede beliebige Stelle eines Kurses springen zu können, auch die Gefahr, daß der Schüler in eine Situation kommt, in der ihm notwendiges Wissen fehlt, über das er verfügen würde, wenn er dem vom Autor vorgegebenen Pfad gefolgt wäre. Indem man dem Autor die Kontrolle darüber gibt, was im Inhaltsverzeichnis angezeigt wird und welche der angezeigten Elemente vom Benutzer angesprungen werden können, läßt sich die Situation in den Griff bekommen. Mit Hilfe der Möglichkeit, aus einer LFU einen Exit Code zurückzugeben, der von dem Course Node ausgewertet und zur Kurssteuerung eingesetzt werden kann, bietet auch IDEALS MTS eine Möglichkeit, freie Navigation zu unterstützen.

Die Kehrseite der Anpaßbarkeit von Kursen in IDEALS zeigt sich, wenn ein Schüler zu einer Stelle in dem Kurs zurückspringt, die er bereits zuvor bearbeitet hat. Da sich in der Zwischenzeit der Kurszustand geändert hat, ist die Situation nach dem Rücksprung nicht mehr identisch mit der Situation, als er die Stelle das letzte Mal besucht hat. Als Folge dessen kann, auch wenn sich der Schüler genau wie vorher verhält, nicht garantiert werden, daß sich der Kurs wie beim letzten Mal verhält. Aufgrund des veränderten Benutzerprofils oder weil mittlerweile neues Lernmaterial verfügbar wurde oder altes Lernmaterial nicht mehr verfügbar ist, können andere Lernpfade oder anderes Lernmaterial ausgeführt werden. Dieses Verhalten widerspricht dem, was ein Schüler intuitiv erwartet.

Lesezeichen und History

Die gebräuchlichste Verwendung der History und der Lesemarken ist, daß ein Schüler zur Auffrischung seines Gedächtnisses oder um bestimmte Details nachzuschlagen an die Stelle zurückblättert, an der dieser Inhalt vermittelt wurde. Hat er dies getan, dann kehrt er in der Regel an die Ausgangsstelle zurück und setzt das Lernen an dieser Stelle fort. Um Probleme mit dem Benutzerprofil zu vermeiden, sollte, während der Schüler die History- oder Lesezeichenfunktionalität verwendet, das Benutzerprofil solange deaktiviert werden, bis der Schüler entweder an die Ausgangsstelle zurückgekehrt ist oder den Kurs explizit an der angesprungenen Stelle fortsetzt. Der Grund für dieses Vorgehen ist folgender: Wenn ein Schüler, weil er für ein anderes Thema ein spezifisches Detail nachschlagen will, zu einer Stelle zurückgeht, die er bereits erfolgreich absolviert hat, will er das angesprungene Lernmaterial in aller Regel nur betrachten. Es gilt dann zu verhindern, daß die Lernumgebung aus den Aktionen des Schülers fälschlicherweise schließt, der Schüler habe den Inhalt doch nicht verstanden, und dann das Benutzerprofil entsprechend korrigiert, was in diesem Fall bedeutet verfälscht.

In MTS lassen sich Lesezeichen und History-Mechanismus, anders als im WWW, daher nicht dadurch realisieren, daß man eine Liste mit Sprungzielen verwaltet und diese bei Bedarf anspringt. In diesem Zusammenhang ist es auch ein Problem, daß WWW-Browser dem Schüler eigene, WWW-spezifische Implementierungen für Lesezeichen und History anbieten. Wenn der Schüler einen Kurs bearbeitet, dann kann er sich über diese Mechanismen des WWW-Browsers im Kurs bewegen, ohne daß die Kurssteuerung davon erfährt. Dann stimmen Kurszustand und Kursdarstellung nicht mehr überein. Da sich die browser-spezifischen Mechanismen nicht deaktivieren lassen, versucht MTS, die vom Browser bereitgestellten Elemente der Benutzungsschnittstelle vor dem Schüler zu verbergen.

In IDEALS wurde der Wert von Lesezeichen und History erkannt und es wurden auch Überlegungen angestellt, wie sich diese Funktionalität im MTS realisieren läßt (siehe oben). Im MTS wurden jedoch keine Unterstützung für diese Mechanismen implementiert.

Annotations und kontextsensitive Hilfe

IDEALS MTS unterstützt weder Annotations noch ein kontextsensitives Hilfesystem. Beides wären jedoch wertvolle Erweiterungen. Wie sich ein kontextsensitives Hilfesystem realisieren läßt, wenn CDL um einen Exception-Mechanismus erweitert wird, wurde bereits in Abschnitt „Erweiterungen der CDL“ auf Seite 50 beschrieben. Da sich in MTS der Inhalt eines Kurses erst zur Laufzeit ergibt und für unterschiedliche Schüler unterschiedlich sein kann, würde man in MTS Annotations immer dem jeweiligen Lernmaterial (LFU bzw. Course Node) zuordnen. Die Anmerkungen der Schüler werden in der Datenbank abgelegt. Neben dem Inhalt der Anmerkung wird auch der logische Name des Lernmaterials, auf das sich die Anmerkung bezieht, der Name des Erstellers, das Datum der Erstellung und die Information, ob es sich um eine private oder öffentliche Anmerkung handelt, abgespeichert. Das Kurslaufzeitsystem muß dann um die Funktionalität und die zugehörige Benutzungsschnittstelle erweitert werden, so daß es für das aktuelle Lernmaterial abfragen kann, welche Anmerkungen vorhanden sind und dem Schüler die Liste der vorhandenen Annotations und auch den Inhalt der Anmerkungen anzeigen kann. Diese Funktionalität ließe sich über das CtrlPanel bereitstellen.

Globale Kursservices

Wie in Abbildung 40 zu sehen stellt MTS einen Anschlußpunkt (linkes Frame) für globale Kursservices zur Verfügung. Als Services werden bereitgestellt: die Anzeige und Verwaltung der Kurse, die ein Schüler unterbrochen hat, allgemeine Bedienungshinweise zum MTS-System, die Verbindung zu einem Tutor (email) und die sogenannte Cafeteria. Bei dieser handelt es sich um einen Bereich zur Bereitstellung von kurs- bzw. LTC-spezifischen Diskussionsforen. Der Inhalt des Frames, das den Zugriff auf die globalen Kursservices bereitstellt, wird nicht vom System erzeugt, sondern vom jeweiligen LTC bereitgestellt. Daher liegt es allein in der Hand des LTCs, welche globalen Kursservices es seinen Schülern anbietet.

4.7.3 Verbesserung in der Realisierung der Kursablaufsteuerung

In diesem Abschnitt soll aufgezeigt werden, welche Möglichkeiten es gibt, die Umsetzung der Kurssteuerung zu verbessern. Die Erfahrungen mit IDEALS MTS vermitteln hier wertvolle Einsichten.

Verwendung eines WWW-Browsers versus selbst-entwickelter Anwendung

Ein vordringliches Ziel in IDEALS war, die Kursdarstellung nicht selbst zu entwickeln zu müssen, sondern auf existierende Komponenten zurückzugreifen und diese falls notwendig um MTS-spezifische Zusatzfunktionalität zu erweitern. Daher wurde in IDEALS entschieden, einen Standard WWW-Browser für die Kursdarstellung zu verwenden und die MTS-spezifischen Funktionalitäten z.B. in Form eines Applets bereitzustellen. Dieser Ansatz bietet die Vorteile:

- ▶ Der Schüler muß keine spezielle Software auf seinem Rechner installieren.
- ▶ Es lassen sich auch alle für diesen Browser verfügbaren Plugins und sonstigen Erweiterungen nutzen.
- ▶ Es ist kein Aufwand für die Implementierung und Pflege der Funktionalität zur Darstellung von Lernmaterial nötig.

Bei der Verwendung eines WWW-Browsers hat man jedoch immer auch das bereits geschilderte Problem mit der Benutzungsschnittstelle. In der Praxis hat es sich auch gezeigt, daß jeder WWW-Browser und auch jede Version des gleichen WWW-Browsers doch ihre Eigenheiten und Spezifika aufweist, auf die man bei der Integration der MTS-Erweiterungen Rücksicht nehmen muß. Eine Browser-Erweiterung zu implementieren, die mit allen verfügbaren WWW-Browsern gleich gut zusammenarbeitet, erfordert viel Aufwand und vor allem immer wieder auch Kompromisse betreffend der Funktionalität bzw. deren Umsetzung.

Mittlerweile existieren fertige Softwarekomponenten für die Darstellung vom HTML bzw. XML. So steht unter Windows die volle Darstellungsfunktionalität des Internet Explorers als eine COM-Komponente zur Verfügung.

Damit ließe sich unter Windows eine eigene MTS-Anwendung erstellen, die in Sachen Darstellung von WWW-basiertem Material dem Internet-Explorer ebenbürtig ist. Auch Java verfügt über eine Klasse zur Darstellung von HTML-Code und neuerdings existieren auch Klassen für die Unterstützung von XML. Problematisch ist hier jedoch die Unterstützung für Plugins, aber dafür sind diese Komponenten plattformunabhängig. Wenn Plattformunabhängigkeit ein wichtiger Aspekt ist, dann wird man generell mit dem Einsatz von plattformabhängigen Elementen wie Plugins vorsichtig sein oder sogar ganz auf diese verzichten. Mit diesen Komponenten ließe sich mit relativ geringem Implementierungsaufwand eine eigene Clientanwendung für MTS entwickeln. In dieser kann man dann die Benutzungsschnittstelle so gestalten, daß sie den Bedürfnissen von MTS entspricht. Die vorgefertigte Komponente realisiert den Funktionsblock Kursdarstellung.

Welche dieser Möglichkeiten (Erweiterung eines WWW Browsers oder eigenentwickelte Anwendung) die bessere ist, läßt sich nicht global feststellen, denn jede hat ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Die Wahl ist also stark davon abhängig, welche Zielgruppe man erreichen und welche Plattformen und Formate man unterstützen will.

MTS-Systemarchitektur

Betrachtet man die Systemarchitektur von IDEALS, dann erkennt man zwei Punkte, bei denen Verbesserungen angebracht sind:

Der erste Punkt ist folgender: Wenn man die Kurssteuerungskomponente nicht auf dem Server sondern clientseitig realisiert, dann hat man nicht mehr das Problem, zwei Komponenten, die über eine unzuverlässige HTTP-Verbindung kommunizieren, synchron halten zu müssen. Interaktionen mit dem Benutzer ließen sich jetzt direkt realisieren, und Netzwerklaufzeiten spielen dafür keine Rolle mehr. Auch bietet die Realisierung der Kurssteuerung bessere Möglichkeiten, auf Fehler im Kursverlauf zu reagieren. Die Verlagerung der Kurssteuerungsfunktionalität auf den Client bewirkt auch eine Entlastung des Servers. Die Kurssteuerung ist in jeden Schritt des Kursverlaufs involviert. Wenn die Clientanwendung bei jedem Schritt Kontakt mit dem Server aufnehmen muß, dann läßt sich kein Standalonebetrieb der Lernumgebung realisieren. Um den Standalonebetrieb zu ermöglichen, muß auf jeden Fall die Funktionalität des Lernmaterialbrokers, der Kursdarstellung und der Kurssteuerung lokal realisiert sein. Auf die Funktionalität der Materialauswahl kann man verzichten. Für das Benutzerprofil genügt es für den StandaloneBetrieb, wenn nur Teile der Funktionalität vorhanden sind. Von den drei unentbehrlichen Funktionalitäten ist die Kursdarstellung bereits auf der Clientseite realisiert. In Abschnitt „HTML-konforme Repräsentation von Referenzen“ auf Seite 69 wurden auch zwei Lösungen vorgestellt, mit denen sich der Lernmaterialbroker auch clientseitig realisieren läßt. Damit ist die serverseitige Realisierung der Kurssteuerung das einzig verbleibende echte Hindernis bei der Realisierung des Standalone-Lernens. Für den Standalone-Betrieb ist es zwar wichtig, daß die Kurssteuerungskomponente auf lokale Realisierungen der Funktionalitäten für den Lernmaterialbroker, das Benutzerprofil und eventuell auch den Mapper zugreifen kann. Allerdings sollte die Kurssteuerungskomponente so realisiert werden, daß sie auch mit server-basierten, verteilten Realisierungen dieser Komponenten zusammenarbeiten kann.

Während es aus technischer Sicht sicherlich in höchstem Maß wünschenswert ist, die Kurssteuerungskomponente auf der Clientseite zu realisieren, ist diese Lösung aus Sicht der Sicherheit jedoch nicht unproblematisch. Denn nun muß alles Lernmaterial (Lernobjekte, Lerneinheiten und sogar Lernstrukturelemente) lokal auf dem Schülerrechner verfügbar sein und kann daher potentiell vom Schüler inspiziert werden. Dadurch wird auch die Komponente zur Kurssteuerung anfällig für Manipulationen von Seiten des Schülers. Will man dieses Risiko ausschließen, kann man versuchen, die sicherheitskritischen Teile der Kurssteuerung (z.B. Bewertung) so zu kapseln, daß sie in Form von speziellen Diensten in einer sicheren Umgebung betrieben werden können. Diese sichere Umgebung kann ein WWW-Server sein oder auch ein Bereich des Betriebssystems, auf den der Schüler keinen Zugriff hat. Das in Kapitel 8 vorgestellte Framework für die Lernerfolgskontrolle verfolgt genau diesen Ansatz.

Der zweite Punkt ist, daß in IDEALS das MTS sowohl konzeptuell aber vor allen auch implementierungsmäßig als ein monolithisches System realisiert ist. Der Kurs-Server implementiert die Funktionsblöcke Materialablage, Materialauswahl, Benutzerprofil, Kurssteuerung und auch Materialerstellung in einer einzelnen Anwendung. Änderungen in einer dieser Komponenten erfordert die Übersetzung des gesamten Systems. In MTS ist genau festgelegt, welche Funktionsblöcke existieren. Es gibt keinen Erweiterungsmechanismus, mit dem sich zur Laufzeit weitere Funktionsblöcke (etwa für globale Kursservices) in das System einbinden lassen. Die einzige Möglichkeit ist die Erweiterung des Systems auf Programmebene.

Statt die Implementierung der Funktionsblöcke in einer Server-Anwendung zusammenzufassen, könnte man auch jeden der Funktionsblöcke als einen eigenständigen Dienst realisieren. Damit würde es bedeutend leichter, einzelne Dienste auszutauschen¹, und auch weitere Dienste ließen sich problemlos zu einem beste-

1. etwa um verschiedene Möglichkeiten der Realisierung zu untersuchen

henden System hinzufügen. Die Kurssteuerung, wie oben beschrieben auf die Clientseite verlagert, ist auch hierfür von Vorteil. Dann müssen auf dem Server nur die Dienste für die Funktionsblöcke Materialablage, Materialauswahl und Benutzerprofil bereitgestellt werden. Diese lassen sich jedoch, im Gegensatz zur Kurssteuerung, alle als zustandslose Dienste realisieren. Das vereinfacht die Implementierung beträchtlich.

Navigationmetaphern

Vergleicht man die Benutzungsschnittstelle des IDEALS MTS mit anderen Lernsystemen, etwa MS LRN [66] oder auch dem Beispielkurs¹ von den WWW-Seiten des AICC, dann fällt auf, daß IDEALS MTS nur über eine sehr rudimentäre Benutzungsschnittstelle für die Kursnavigation verfügt. In IDEALS besteht die Benutzungsschnittstelle im wesentlichen aus einem Weiter- und einem Beenden-Button (siehe Abbildung 40). Bei den beiden anderen Lernsystemen gibt es in der Benutzungsschnittstelle für die Kursnavigation Elemente wie Vorwärts- und Rückwärts-Buttons. Der Schüler kann sich ein Inhaltsverzeichnis des Kurses anzeigen lassen und sich mit dessen Hilfe im Kurs bewegen usw.. Anders als in IDEALS MTS, in dem sich die Benutzungsschnittstelle nicht verändert, paßt sich die Benutzungsschnittstelle in den beiden anderen Lernsystemen auch an den jeweiligen Kurszustand an.

Eine Ursache, warum die Benutzungsschnittstelle in IDEALS MTS so rudimentär ausgefallen ist, ist sicherlich in der Tatsache zu suchen, daß die Implementierung einer flexiblen Benutzungsschnittstelle sehr aufwendig ist und einen großen Kommunikationsaufwand erfordert, wenn die Kurssteuerungskomponente auf dem Server realisiert ist und die Darstellungskomponente (Control Panel) auf der Clientseite. Der andere und wichtigere Grund ist jedoch, daß es in IDEALS keine offizielle Navigationsmetapher gibt. Vielmehr sollte es den Autoren möglich sein, beliebige Navigationkonzepte zu realisieren. MS LRN dagegen verfügt über eine offizielle Navigationsmetapher. So geht MS LRN davon aus, daß die Kurse baumartig organisiert sind. Ausgehend von dieser Information läßt sich eine Benutzungsschnittstelle entwerfen, die optimal auf diese Navigationsmetapher ausgerichtet ist. Zur Navigation benötigt man nur einen Vorwärts- und einen Rückwärtsbutton und eine graphische Darstellung der Baumstruktur (Inhaltsverzeichnis).

Der Gedanke bei IDEALS war: Da der Autor in einem Course Node jeden beliebigen Kursverlauf programmieren kann, muß das MTS-System nur die absolut notwendigste Funktionalität bereitstellen, einen Weiter-Button. Mit dem Weiter-Button kann ein Schüler anzeigen, daß er die Bearbeitung einer LFU abgeschlossen hat und daß der nächste Schritt im Kursverlauf ausgeführt werden soll. Wie der Autor bestimmt, was der nächste Schritt im Kursverlauf ist, bleibt vollkommen ihm überlassen. Benötigt er zur Bestimmung des nächsten Schritts eine Benutzungsschnittstelle, z.B. einen Auswahldialog, dann hat er die Möglichkeit, diesen als LFU ganz nach seinen eigenen Vorstellungen zu realisieren. Dies funktioniert auch gut, allerdings beschränken sich die Gestaltungsmöglichkeiten des Autors auf den Übergang zwischen wissensvermittelnden LFUs. Es wäre aber auch wünschenswert, mehr Funktionalität über das Control Panel bereitzustellen. Es stellt sich aber die Frage, wie sich dieser Wunsch mit dem Wunsch vereinbaren läßt, sich nicht an eine bestimmte Navigationsmetapher binden zu müssen.

4.8 Sicherheitsaspekte in IDEALS MTS

Bevor in den folgenden Kapiteln im Detail auf das Thema Sicherheit im Computer-unterstützten Lernen eingegangen wird, soll hier MTS noch einmal aus Sicht der Sicherheit betrachtet werden.

Mit den vom WWW bereitgestellten Sicherheitsmechanismen wie etwa SSL [23] läßt sich in IDEALS MTS die Vertraulichkeit beim Austausch von Lernmaterial und Kontrollinformation gewährleisten. Aber IDEALS MTS realisiert auch selbst weitere Sicherheitsmechanismen. So müssen sich alle Benutzer gegenüber dem MTS-System authentisieren. Daher lassen sich die Aktionen eines Benutzers auch einer Person zuordnen. Unter Verwendung dieser Benutzerkennungen lassen sich Zugriffsrechte auf Lernmaterial definieren. Der in IDEALS integrierte Zugriffsmechanismus für Lernmaterial stellt sicher, daß ein Benutzer nur auf Lernmaterialmaterial zugreifen kann, für das ihm Zugriffsrechte eingeräumt wurden. Dieser Zugriffsmechanismus sammelt in IDEALS auch die für eine Abrechnung nötigen Informationen. Da die Überprüfung der Zugriffsrechte und die Protokollierung der Zugriffe für Abrechnungszwecke auf dem Server erfolgt, lassen sich Manipulationen verhindern und die Zuverlässigkeit der gesammelten Daten gewährleisten. Zum Schutz des geistigen Eigentums wurde SysCop[122] in die Lernmaterialverwaltung integriert. Damit kann ein Autor digitale Wasserzeichen [120] in Bilder einbringen, mit denen sich seine geistige Urheberschaft an einem Bild zweifelsfrei belegen läßt. IDEALS verfügt jedoch über keinen Mechanismus, mit dem sich verhindern läßt, daß Benutzer Lernmaterial unberechtigt weitergeben. Da das Benutzerprofil und die Kurssteuerung Bestandteil des MTS-Servers sind, sind sie auch sicher vor Manipulationen und dem Ausspähen seitens der Schüler, vorausgesetzt der Server wird in einer entsprechend abgesicherten Umgebung betrieben. Jedoch beschränkt sich die Kurssteuerung

1. verfügbar unter der URL <http://aicc.org/pages/samples.html>

im MTS-Server auf die Ebene der Course Nodes. Die Lerneinheiten (LFUs) werden im WWW-Browser ausgeführt. Dies eröffnet Möglichkeiten zur Manipulation, denn diese Lerneinheiten sind auch zuständig für die Lernerfolgskontrolle, d.h. der Code für die Bewertung eines Schülers muß lokal im WWW-Browser verfügbar sein und ist damit auch potentiell angreifbar für den Schüler. Bei JavaScript, das gerne für die Programmierung derartiger Aufgaben verwendet wird, hat der Schüler besonders einfaches Spiel, da sich der zugehörige Code in jedem WWW-Browser anzeigen läßt. Auch andere Wege, den Code lokal bereitzustellen, wie z.B. als Java Applet, bieten keine Lösung für dieses Problem. Sie erhöhen lediglich den Aufwand, den der Schüler betreiben muß. Eine grundsätzliche Lösung für dieses Problem zu finden war die Motivation für die Entwicklung des in Kapitel 8 beschriebenen Testframeworks.

4.9 Zusammenfassung

Mit der Implementierung des IDEALS MTS wurde nachgewiesen, daß es möglich ist, eine WWW-basierte Lernumgebung für modulares Lernmaterial zu verwirklichen, die folgendes ermöglicht:

- ▶ Lernmaterial kann gemeinsam erstellt und genutzt werden. Die daraus resultierenden Möglichkeiten zur Wiederverwendung führen zu einer Kostenersparnis bei den Erstellungskosten von Lernmaterial.
- ▶ Mit dem Lernsystem lassen sich auch dynamische Kurse realisieren, die sich selbständig an den Schüler und den Lernverlauf anpassen können.
- ▶ Durch das Lernsystem werden keine Vermittlungsstrategien und didaktischen Vorgehensweisen vorgegeben, sondern der Autor kann in seinem Lernmaterial beliebige Strategien und Vorgehensweisen realisieren.

Schlüsselkonzepte hierfür sind: die Verwendung von global eindeutigen logischen Namen für Lernmaterial, durch die es möglich wird, Lernmaterial unabhängig von seinem Ablageort anzusprechen; die Verwendung eines Content Aggregation Modells, das die verschiedenen Lernmaterialebenen durch eigene Kategorien von Lernmaterial repräsentiert, die Kapselung von inhaltlichen und funktionellen Aspekten von Lernmaterial erlaubt und durch die konsequente und konsistente Verwendung von Metadaten die Beschreibung der Fähigkeiten und des Verwendungszwecks von Lernmaterial bereits auf konzeptueller Ebene sauber handhabt.

Obwohl sie unabhängig von diesen entwickelt wurden, stimmen die Konzepte von MTS in vielen Bereichen überein mit denen von AICC, IMS, IEEE und ADL. So findet man in allen dieselben drei Kategorien von Lernmaterial. Auch verwenden alle Ansätze Metadaten für die Beschreibung der Fähigkeiten und des Verwendungszwecks von Lernmaterial und auch des Wissensstands der Schüler. Bei den Metadaten für Lernmaterial gibt auch eine Übereinstimmung, welche Informationen in den Metadaten enthalten sein sollen. Allerdings gibt es auch Unterschiede in den Konzepten. Bei AICC, IMS, IEEE und ADL wird Lernmaterial zu einem Kurs zusammengestellt, der dann als eine Einheit an den Schüler ausgeliefert wird. Jeder Kurs bildet dabei eine abgeschlossene Welt für sich. Die Verwendung von Material und Benutzerprofilinformationen aus anderen Kursen ist nicht möglich. Bei MTS werden Kurse nicht im voraus zusammengestellt, sondern MTS stellt einen globalen Pool von gut gekapseltem Lernmaterial bereit, aus dem erst während der Laufzeit ein Kurs zusammengestellt wird. Bei MTS gibt es daher keine Kurse im eigentlichen Sinn sondern nur einen Vorrat von Mikrokursen (Basic Building Blocks). Als Folge dessen läßt sich bei MTS die Auswahl des Lernmaterials dynamisch durchführen, und es lassen sich Kurse realisieren, die sich automatisch an den Schüler und den Kursverlauf anpassen. Dieser Unterschied zeigt sich auch darin, daß bei AICC, IMS, IEEE und ADL Lernmaterial über kursspezifische Namen identifiziert wird, während MTS global eindeutige Namen verwendet. Während bei AICC, IMS, IEEE und ADL Lernmaterial nur über den Namen referenziert werden kann, gibt es bei MTS auch einen Mechanismus zur dynamischen Referenzierung. Dieser basiert auf einer best-fit Suche unter Verwendung der Informationen in den Metadaten. Während bei AICC, IMS, IEEE und ADL die Metadaten dem Lernmaterial quasi nachträglich zugeordnet werden und bei dem Zugriff auf das Lernmaterial keine Rolle spielen, behandelt MTS die Metadaten als integralen Bestandteil von Lernmaterial. Der Zugriff auf Lernmaterial erfolgt in MTS immer über die Metadaten.

IDEALS MTS stellt zur Beschreibung von Lernmaterial auf der Wissensmodellierungsebene lediglich elementare Primitive zur Ablaufbeschreibung zur Verfügung (Sequenzen, Alternativen, Schleifen, Ausdrücke) und keine Beschreibungselemente, die pädagogische Absichten und Vorgehensweisen repräsentieren. Damit kann der Autor jede gewünschte Vorgehensweise realisieren und ist nicht auf eine Menge vom System vorgegebener Vorgehensweisen beschränkt.

In diesem Kapitel wurden alle relevanten Aspekte der Implementierung im Detail beschrieben. Insbesondere wurde auf die Beschreibung des Lernmaterials, den Referenzierungsmechanismus und die Kurssteuerung eingegangen. Dabei wurden die Stärken und Schwächen der Implementierung beschrieben und auch Möglichkeiten zur Verbesserung vorgestellt. Die wesentlichen Erkenntnisse in diesem Bereich sind:

Bewährt hat sich die Verwendung des WWW zur Darstellung des Lernmaterials auf den beiden unteren Ebenen. Dabei müssen Wege gefunden werden, die MTS-spezifischen global eindeutigen Namen für Lernmaterialien in die Beschreibung der Lerneinheiten zu integrieren, und es muß ein Mechanismus implementiert werden, über diese Namen auf das Lernmaterial zuzugreifen. Dabei ist von großer Bedeutung, die Darstellung dieser Namen HTML-kompatibel zu gestalten.

Während die Metadaten auch weiterhin in der Datenbank abgelegt werden sollten, sollte darauf verzichtet werden, die Materialdaten in der Datenbank abzulegen, da dies eine beträchtliche Einschränkung darstellt in bezug auf das Spektrum an unterstützbaren Lernmaterialformaten.

Es wäre wünschenswert, die Kurssteuerung von der Serverseite auf die Clientseite zu verlagern. Auch brächte es Vorteile, den MTS-Server nicht länger als eine monolithische Anwendung zu realisieren, sondern als eine Gruppe von individuellen Diensten.

Die Ausnutzung von Design Patterns ist ein wichtiger Aspekt für die Vielnutzung von Lernmaterial. Die Unterstützung von generischem Lernmaterial in MTS wäre hier sehr hilfreich. Sie würde zum einen die Wiederverwendung von Design Patterns vereinfachen. Zum anderen ist es auch eine wirkungsvolle Unterstützung für die Qualitätssicherung, wenn die Information, welches Design Pattern realisiert wird, expliziter Bestandteil des Lernmaterials ist.

Die Frage der Sicherheit in analogen Lern- und Prüfungsumgebungen erschöpft sich bei der Betrachtung in einer einseitigen Anforderung, die zudem auf das Prüfungs- bzw. Testereignis beschränkt ist. Der Prüfende erwartet, daß während des Tests Prüfling und abgelieferte Ergebnisse in der Lernerfolgskontrolle authentisch sind, d.h. tatsächlich von der zu testenden Person erarbeitet wurden.

Diese Anforderung des Lehrenden bzw. Prüfenden gilt in einem durch Computer unterstützten Lern- und Test-Umfeld um so mehr. Die Bedürfnisse hinsichtlich ausgeprägter Sicherheitsmechanismen beginnen beim Computer-unterstützten Lernen hingegen bereits in der Lernphase. Sofern der Lernende die Dienste eines Lernsystems zur Kompensation eines Wissensdefizits in Anspruch nimmt, wird er erwarten, daß die Tatsache eines Wissensdefizits zumindest seinem direkten Umfeld verborgen bleibt; die Reputation bei Vorgesetzten und untergeordneten Mitarbeitern ist nicht zuletzt von der technischen Kompetenz abhängig. Dies und weiteres ergibt die zweite Seite von Anforderungen der Beteiligten an die Sicherheit eines Lernsystems.

Und letztlich auf der dritten Seite sind es die Urheber, die mit großem Aufwand das Lernmaterial erstellen und ein berechtigtes Interesse haben, daß Ihre urheberrechtlichen Interessen gewahrt werden, ferner die Trainingsprovider, die für Ihre Dienstleistung eine angemessene Vergütung erheben wollen.

In der Summe kann man von der Notwendigkeit einer mehrseitigen Sicherheit sprechen im Sinne, wie der Begriff von Müller et. Al. geprägt wurde [94].

In diesem Abschnitt werden zunächst allgemein Sicherheitsbedürfnisse formuliert und daraus konkrete Anforderungen an eine sichere Lernumgebung abgeleitet. Im Abschnitt 5.2 wird der Stand der Technik beleuchtet, der zur Bedienung der Anforderungen in Betracht zu ziehen ist. Anschließend wird im Detail auf die Lernerfolgskontrolle im Computer-unterstützten Lernen eingegangen.

5.1 Allgemeine Bedürfnisse und Anforderungen

Allgemeine Bedürfnisse und Anforderungen an die Sicherheit von Informations- und Kommunikationssystemen ranken sich um den Schutz von Daten, worunter im folgenden nicht nur Lernmaterial im speziellen verstanden sein soll.

5.1.1 Vertraulichkeit

Gemäß dem Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) handelt es sich bei den Einträgen im Benutzerprofil um personenbezogene Daten „Einzelangaben über persönliche oder sächliche Verhältnisse einer bestimmten oder bestimmbarer Person“ (§3 Abs. 1). Das BDSG regelt die Erhebung personenbezogener Daten als Verbot mit Erlaubnisvorbehalt (§3 Abs. 1). Nach §4a erfordert die Erhebung, Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten die ausdrückliche Zustimmung des Betroffenen. Beim Betrieb einer Lernumgebung muß sichergestellt sein, daß diese Bestimmungen eingehalten werden.

Unbefugten soll es nicht möglich sein, Daten zu lesen. Dieses Bedürfnis umfaßt einerseits den Schutz von Datenträgern und deren Inhalten; Datensätze sollen nur für Berechtigte lesbar sein. Andererseits beinhaltet das Bedürfnis nach Vertraulichkeit den Schutz von Kommunikationskanälen und den übertragenen Inhalten; Nachrichten sollen nur für Diejenigen lesbar sein, für die sie bestimmt sind.

Im Kontext von Lernumgebungen ergeben sich somit die Anforderungen,

- ▶ Lernmaterial ist verschlüsselt vorzuhalten und nur denjenigen Schülern zur Verfügung zu stellen, die zu dem Zugriff auf das ausgewählte Material berechtigt sind,
- ▶ Schutz der Kommunikation zwischen Client-Systemen und Trainingsprovider gegen unbefugtes Abgreifen der übertragenen Daten, wobei schützenswerte Daten einerseits Lernmaterial sind und andererseits übertragene Steuerungsinformation des Lernsystems (Kommandos und auch Metadaten).
- ▶ Testergebnisse und Informationen aus dem Benutzerprofil sollen nur dem Lehrer bzw. dem Schüler zugänglich sein, nicht jedoch anderen Personen.

5.1.2 Authentizität

Authentizität bedeutet [95]: Es sollte dem Empfänger möglich sein, die Herkunft einer Nachricht zu ermitteln; ein Eindringling sollte sich nicht als eine andere Person ausgeben können [Schneier1996]. Das Bedürfnis beinhaltet die Erkennung eines Systemnutzers oder eines Kommunikationspartners, um eine sichere Zuordnung von Nachrichten zu der Identität des Absenders herzustellen.

In bezug auf den Lernkontext ergeben sich die folgenden Anforderungen:

- ▶ Die Authentizität der in der Lernumgebung verfügbaren Lernmaterialien soll nachweisbar sein, um sicherzustellen, daß Lernmaterialien wirklich von den als Autoren angegebenen Personen verfaßt wurden.
- ▶ Der Schüler kann Inhalte und Elemente von Kommunikationsprotokollen eindeutig dem Trainingsprovider zuordnen, der von ihm ausgewählt wurde.
- ▶ Der Prüfende kann darauf vertrauen, daß aufgezeichnete Antworten im Rahmen von Tests und Prüfungen tatsächlich von dem zu testenden Schüler erarbeitet wurden und aufgezeichnete Benutzerinteraktionen von der zu testenden Person erarbeitet wurden.

5.1.3 Integrität

Der Empfänger sollte überprüfen können, ob eine Nachricht bei der Übermittlung verändert wurde; ein Eindringling sollte die echte nicht durch eine gefälschte Nachricht ersetzen können [95]. Das Bedürfnis beinhaltet Mechanismen zur Detektion von Manipulationen, abstrahiert jedoch von möglichen Reaktionen, mit denen auf tatsächlich eingetretene Ereignisse reagiert werden soll.

Im Kontext von Lernumgebungen ergeben sich somit die folgenden Anforderungen:

- ▶ Der Schüler erwartet unverfälschtes Lernmaterial und sollte darauf vertrauen können, daß das Material in der ihm vorliegenden Form vom Trainingsprovider erstellt und vertrieben wurde.
- ▶ Daten, die im Zusammenhang mit Tests entstanden sind und den Lernerfolg des Schüler qualitativ bewerten, sollten unverfälscht vom Lehrer/Tutor analysiert werden können.

5.1.4 Verbindlichkeit

Ein Sender sollte später nicht leugnen können, daß er eine Nachricht gesendet hat [95].

Im Kontext von Lernumgebungen ergibt sich für die Prüfungsphase die Anforderung:

- ▶ Dem Prüfling soll es nicht möglich sein, falsche Antworten, die von ihm im Rahmen einer Prüfung abgegeben wurden, späterhin als nicht von ihm erstellt abzustreiten.

5.1.5 Urheberschutz

Ein Urheber sollte in seiner geistigen und persönlichen Beziehung zu seinem Werk (Urheberpersönlichkeitsrecht §§11,12-14 UrhG) geschützt werden und ausschließlich über die Verwertung seines Werkes verfügen (§§ 15 ff. UrhG). Die rechtliche Grundlage dafür bildet das Urheberrecht. Dieses schützt persönliche geistige Schöpfungen im Bereich der Literatur, Wissenschaft und Kunst (§1 UrhG). Als Kriterium dafür legt §69a Abs. 3 UrhG fest, daß es sich um individuelle Werke handeln muß in dem Sinn, daß sie das Ergebnis der eigenen geistigen Schöpfung sind. Diese Anforderung sollte in der Regel jedes Lernmaterial erfüllen. Das Urheberrecht entsteht direkt mit der Erschaffung des Werks und bedarf keinerlei Formalitäten wie etwa der Patentanmeldung. Das Urheberrecht unterscheidet zwischen dem Urheberpersönlichkeitsrecht (geistige und persönliche Beziehung zwischen dem Urheber und dem Werk) und den Verwertungsrechten (§11 UrhG), und nur Letztere sind auch übertragbar. Die §§15 - 24 und §§ 69b und c UrhG regelt die Verwertungsrechte, so etwa das Vervielfältigungsrecht (§ 16 UrhG und § 69c UrhG) und das Verbreitungsrecht (§ 17 UrhG und § 69c UrhG). Bei Verstößen gegen das Urheberrechtsgesetz drohen neben strafrechtlichen Konsequenzen (§§ 106, 108 UrhG, Freiheitsstrafen bis zu 3 Jahren oder Geldstrafen) auch zivilrechtliche (Schadensersatz nach § 97 Abs. 1 UrhG). In diesem Bereich gibt es Bemühungen zu einer internationalen Harmonisierung der Gesetzgebung.

Ein Sprichwort sagt „Recht haben und Recht bekommen sind zwei verschiedene Dinge“ und weist damit auf die Problematik hin, daß Ansprüche auch vor Gericht beweisbar sein müssen. Dies gilt insbesondere auch für das Urheberrecht bei Lernmaterial. Es müssen daher technische Mittel und Wege gefunden werden, mit denen sich die Urheberschaft nachweisen läßt. Konkret ergeben sich die folgenden Anforderungen.

- ▶ Jedem Stück Lernmaterial muß sich eindeutig ein Urheberrechtsinhaber zuordnen lassen.
- ▶ Die Urheberrechtsinformation sollte im Lernmaterial selbst enthalten sein. Denn nur so läßt sich bei unrechtmäßigen Kopien nachweisen, wessen Eigentum sie sind (Forensische Verwertung). Ohne diesen Nachweis sind keine juristischen Schritte möglich. Ist die Urheberrechtsinformation zwar Bestandteil des Lernmaterials aber nur ein leicht lokalisierbarer, dann kann die Information mit einem geeigneten Werkzeug leicht entfernt oder geändert werden. Sicherer ist es, wenn die Urheberrechtsinformation direkt mit dem Inhalt verwoben ist. Allerdings darf dabei der Inhalt nicht wahrnehmbar verändert werden.
- ▶ Nur der Urheber darf in der Lage sein, die Urheberrechtsinformation einzufügen, zu verändern oder zu entfernen. Jeder Versuch sie zu entfernen, soll zu einer Zerstörung des Inhalts des Lernmaterials führen oder zumindestens zu einem derartigen Qualitätsverlust, daß das Lernmaterial nicht mehr brauchbar ist.

Die eingebrachte Urheberrechtsinformation sollte robust sein gegen inhaltserhaltende Manipulationen. Sonst könnte man die Urheberrechtsinformation entfernen, indem man den Inhalt verändert, aber so, daß es in der Wahrnehmung für den Benutzer unverändert erscheint (z.B. Veränderungen der Farbwerte oder Farbtiefe oder Verwendung einer anderen Auflösung bei Bildern).

Ein interessantes Problem ist auch das sekundäre Urheberrecht. Gesetzt den Fall, ein Autor erstellt Lernmaterial zu einem bestimmten Thema und stellt fest, daß einiges Lernmaterial von anderen Autoren inhaltlich zu seinem Thema passen und sich auch gut für sein Thema einsetzen lassen würde. Dann ist es wünschenswert, daß der Autor dieses Lernmaterial in seinem Kurs einbinden kann. In den vorherigen Kapiteln dieser Arbeit wurde bereits ausführlich auf die technischen und konzeptionellen Aspekte der Wiederverwendung und Mehrfachverwendung von Lernmaterial eingegangen. Allerdings wurden dabei die juristischen Aspekte und insbesondere die Frage des Urheberrechts außer Acht gelassen. Wenn ein Autor alles Lernmaterial selbst erstellt hat, dann ist er unbestreitbar auch der Inhaber des Urheberrechts. Wie verhält es sich allerdings im Fall, daß er Material von anderen Autoren verwendet. Darf er das überhaupt ohne weiteres oder bedarf es dafür der Zustimmung des oder der Urheberrechtsinhaber des verwendeten Lernmaterials? Wenn er fremdes Material neu arrangiert und eventuell mit eigenem Material kombiniert, dann ist das sicherlich als eine geistige Eigenleistung anzusehen. Aber was bedeutet das für das erstellte Material? Ist er nun der alleinige Inhaber des Urheberrechts für das neue Material, das er ja allein arrangiert hat? Oder sind die Urheberrechtsinhaber der verwendeten Lernmaterialien auch anteilige Urheberrechtsinhaber des neuen Lernmaterials? Falls Letzteres zutrifft, dann stellt sich die Frage, wie und von wem festgelegt wird, welchem Autor welcher Anteil zusteht? Diese Frage ist nicht nur von theoretischer Bedeutung, sondern ist durchaus von praktischer Relevanz, denn die Frage des Urheberrechts ist ein entscheidender Aspekt, wenn es um die Nutzungsentgelte geht. Daß die zweite Alternative - anteiliges Urheberrecht für die Autoren von verwendetem Material - nicht wirklich praktikabel ist, wird spätestens dann offensichtlich, wenn man sich den Fall vorstellt, daß ein Autor fremdes Material verwendet, das selbst auch wieder fremdes Material verwendet, ganz zu schweigen von dem Fall, daß fremdes Material dynamisch eingebunden wird.

Aufgelöst wird die Problematik des sekundären Urheberrecht allerdings dadurch, daß in HTML verwendete Daten nicht in das Zieldokument kopiert sondern nur referenziert werden. Ein zusammengesetztes Dokument besteht dann aus mehreren Dateien. Das hat zur Folge, daß sich zwar nicht jedem Dokument aber doch jeder Datei ein eindeutiger Ersteller zuordnen läßt. Dieser Erzeuger ist dann auch der Inhaber des Urheberrechts für diese Datei. Eine Datei, die Referenzen auf andere Dateien enthält, ist für sich selbst nicht lebensfähig sondern nur im Zusammenspiel mit den referenzierten Dateien. Ist also sichergestellt, daß eine Datei nur angezeigt werden kann, wenn das Urheberrecht des Eigentümers gewahrt ist, dann lassen sich zusammengesetzte Dokumente nur dann anzeigen, wenn die Urheberrechte aller Dateien gewahrt sind.

5.2 Stand der Technik

Wesentliche Sicherheitsmechanismen, die im Rahmen dieser Arbeit zum Einsatz kommen, basieren auf dem Stand der Technik in der Kryptographie. Bei der Kryptographie handelt es sich um ein sehr weit zurückreichendes Gebiet, das jedoch erst in jüngerer Zeit mit wissenschaftlichen Methoden bearbeitet wird. Die Ursprünge der Kryptographie sind im militärischen, aber auch im Bereich der Kommunikation zwischen Diplomaten oder Handelsunternehmen zu suchen (die Anfänge der Kryptographie bis etwa zum 2. Weltkrieg sind z. B. in [96] dargestellt).

Der entscheidende Unterschied zwischen den historischen und modernen Verfahren, die durch das Aufkommen mechanischer und elektronischer Hilfsmittel zur Blüte gelangen konnten, ist die verstärkte Rolle der Mathematik, insbesondere der Zahlentheorie, in der modernen Kryptographie. Daneben spielte allerdings auch der verstärkte Bedarf der allgemeinen Öffentlichkeit nach Vertraulichkeit eine Rolle, insbesondere im Zusammenhang mit dem Einsatz von Computern zur Kommunikation. Der entscheidende Durchbruch für den allgemeinen Einsatz von Kryptographie war die Veröffentlichung des ersten Verfahrens für asymmetrische Kryptographie durch Diffie und Hellman im Jahr 1976 [97]. Es ist jedoch zu betonen, daß die Verfahren in der Regel nicht mathematisch beweisbar sicher sind. Im günstigsten Fall ist für ein Verfahren nachweisbar, daß es NP-vollständig ist; oft (insbesondere bei symmetrischen Chiffren) ist man auf viel schwächere Argumente angewiesen, d.h. den empirischen Nachweis, daß bekannte Verfahren der Kryptoanalyse der betreffenden Chiffre nichts anhaben können.

Im folgenden werden die Verfahren kurz vorgestellt, die für diese Arbeit von Bedeutung sind. Detailliertere Beschreibungen dieser Verfahren und Prinzipien findet man in [92],[93] und [95].

5.2.1 Verwendete Terminologie

- ▶ **Klartext.** Die Nachricht (eng. Message bzw. Plaintext), wird mit m symbolisiert. Sofern der Klartext aus mehreren Symbolen besteht, werden die einzelnen Symbole mit Index i durch m_i bezeichnet.
- ▶ **Chiffretext.** Auch Geheimtext oder Chiffre bzw. engl. Ciphertext bezeichnet das Resultat einer Verschlüsselungsoperation und wird hier mit c symbolisiert. Sofern der Chiffretext aus einer Kette mehrerer Symbole besteht, werden die einzelnen Symbole mit Index i durch c_i bezeichnet.
- ▶ **Schlüssel.** Der von der Verschlüsselungsoperation verwendete Schlüssel. Bei symmetrischen Verfahren wird dieser mit k bezeichnet, bei asymmetrischen Verfahren bezeichnet k_p den öffentlichen und k_s den geheimen Schlüssel.
- ▶ **Entschlüsselung.** Die Transformation des Chiffretextes in Klartext, wird mit D_k bezeichnet, d.h. $m = E_k(c)$. Im Falle asymmetrischer Operationen wird der jeweils entgegengesetzte Schlüssel der Verschlüsselungs-operation verwendet.

5.2.2 Verschlüsselung

Es existieren eine Reihe von Kriterien, nach denen Chiffren klassifiziert werden können; diese sind teilweise orthogonal zueinander und sind daher hier im Interesse einer kompakten Darstellung nicht weiter untergliedert.

Symmetrische Chiffren

Die symmetrischen Verfahren arbeiten mit einem geheimen Schlüssel k , der sowohl zur Chiffrierung als auch zur Dechiffrierung verwendet wird. Dabei ist es notwendig, daß beide Parteien den Schlüssel k besitzen und den gleichen Algorithmus zur Verschlüsselung verwenden; daher muß k von den Parteien geheim gehalten werden.

Es sei vorausgesetzt, daß beide Parteien vorab über Algorithmus und Schlüssel einig sind. In diesem Fall wird der Sender den Chiffretext $c = E(k, m)$ erhalten und diesen dem Empfänger übermitteln. Dieser kann nun den Klartext $m = E(k, c)$ wieder gewinnen. Ein hinreichendes kryptographisches System ist gemäß den Prinzipien von Kerckhoff nicht von der Geheimhaltung des Algorithmus abhängig; die Geheimhaltung hängt allein vom Schlüssel ab [98].

Damit sind bereits die beiden Hauptprobleme der symmetrischen Verfahren, insbesondere bei der Verwendung in der Datenkommunikation, genannt. Die Parteien müssen sich vor Aufnahme der Kommunikation über einen sicheren Kanal auf einen Algorithmus und einen Schlüssel einigen.

Der Data Encryption Standard (DES)

Das damalige National Bureau of Standards der USA veröffentlichte am 15. Mai 1973 eine Ausschreibung für Verschlüsselungssysteme. Eine der daraufhin erfolgten Einreichungen war das von Horst Feistel [99] maßgeblich entwickelte System, das von IBM eingereicht wurde. Nach einer Revision des Algorithmus durch die National Security Agency, bei der unter anderem die Länge des Schlüssels von 128 auf 64 Bit reduziert wurde, wurde das resultierende System als Data Encryption Standard (DES) 1977 als FIPS 46 [100] zum Standard erhoben.

DES ist eine Blockchiffre, die auf 64 Bit-Blöcken operiert. Der Algorithmus chiffriert die Eingabe von 64 Bit zu einem Chiffretext von ebenfalls 64 Bit. Ver- und Entschlüsselung verwenden den gleichen Schlüssel mit einer Länge von 56 Bit. Der Schlüssel wird zwar als 64-Bit-Zahl formuliert, jedoch werden 8 Bit zur Paritätsprüfung genutzt. Der Grundbaustein der Chiffre ist die Anwendung einer vom Schlüssel abhängigen Kombination von Substitution und anschließender Permutation auf den Text [95]. Ein derartiger Vorgang wird als Runde bezeichnet. DES arbeitet mit 16 Runden.

Die Schlüssellänge von DES wurde bereits bei seiner Vorstellung bemängelt. Die Motivation hierfür dürfte eine Überlagerung verschiedener Aspekte gewesen sein. Es wurde die Stärke der Chiffre bei reduziertem Bedarf an Schlüsselmaterial erhöht, gleichzeitig ist DES sehr leicht und effizient in Hardware zu implementieren. Selbst wenn man davon ausgeht, daß keine Hintertüren in DES vorhanden sind, die es der NSA erlauben, ohne Kenntnis des Schlüssels das Chiffre zu lesen und auch ansonsten keine Schwächen in DES vorhanden sind, bleibt das Problem der erschöpfenden Suche, das bei 256 Schlüsseln keine unüberwindlichen Probleme stellt. 1998 wurde für etwa 300000 \$ und unter Verwendung von am freien Markt erhältlichen Komponenten ein Gerät zur erschöpfenden Suche durch die Electronic Frontier Foundation (EFF) konstruiert [105]. Dieses kann binnen weniger Stunden den Schlüsselraum von DES durchsuchen.

Angeichts dieser Tatsache wurde vom NIST der Standard überarbeitet und als FIPS 46-3 dahingehend modifiziert, daß anstelle des bisher einfachen DES Triple-DES verwendet werden soll [104]. Der Basisalgo-

rithmus von DES wird auch in der verketteten Variante von Triple-DES (auch kurz 3DES genannt) nicht verändert.

Dabei existieren drei Varianten zur Setzung der Schlüssel:

1. k_1 , k_2 , und k_3 sind unabhängige Schlüssel.
2. k_1 und k_2 sind unabhängige Schlüssel, $k_3 = k_1$.
3. $k_3 = k_2 = k_1$.

Im letztgenannten Fall liegt die Basischiffre vor. Der Fall (2) kann durch eine *chosen plaintext attack* gebrochen werden [106]. Daher wird in dieser Arbeit die Variante 1 gewählt und durchgängig verwendet.

Der Advanced Encryption Standard (AES)

Auf Betreiben des NIST wurde 1997 eine Ausschreibung für einen Ersatz des DES eingerichtet [107]. Ziel für den Nachfolger war es, eine frei verwendbare Chiffre zu haben, die einen einfachen Übergang von DES erlaubt. Dazu mußten die Kandidaten (die ausdrücklich Blockchiffren sein mußten) variable Schlüssel- und Blocklängen mit Schlüssellängen von 128, 192 und 256 Bit unterstützen. Das Auswahlverfahren wurde nach mehreren Begutachtungsrunden im Oktober 2000 abgeschlossen und der belgische Algorithmus RIJNDAEL selektiert. Mit einer Ablösung von 3DES durch RIJNDAEL ist in naher Zukunft zu rechnen.

Asymmetrische Chiffren

Asymmetrische Verfahren, auch public-key-Verfahren genannt, arbeiten mit einem Schlüssel, der in zwei voneinander abhängige Teile separiert ist, einen öffentlichen Schlüssel k_p sowie einen geheimen Schlüssel k_s . Für ein solches Paar gilt, daß Daten, die mit einem Teil-Schlüssel verschlüsselt wurden, nur mit Hilfe des korrespondierenden anderen Teil-Schlüssels dechiffriert werden können. Der geheime Schlüssel verbleibt bei dem Besitzer, wohingegen der öffentliche Schlüssel frei verbreitet werden kann; dies kann auch über unsichere Kanäle geschehen. Eine asymmetrische Chiffrierung erfolgt daher in den folgenden Schritten:

- Der Sender A chiffriert die Nachricht m mit dem öffentlichen Schlüssel des Empfängers B, $k_{p,B}$: $c = E(k_{p,B}, m)$
- B und nur B ist in der Lage, mit dem korrespondierenden Schlüssel $k_{s,B}$ die Nachricht zu dechiffrieren: $m = D(k_{s,B}, c)$.

Somit ist jeder, der über den öffentlichen Schlüssel $k_{p,B}$ verfügt, in der Lage, eine Nachricht so verschlüsseln, daß diese nur von B entschlüsselt werden kann. Problematisch ist dabei die Verknüpfung eines Schlüssels $k_{p,X}$ mit einer Identität X, d.h. die Sicherstellung der Authentizität dieser Verknüpfung. Sofern dies nicht sichergestellt ist, besteht die Möglichkeit eines *man in the middle* Angriffs. Dabei erreicht ein Angreifer, daß ein von ihm erzeugter öffentlicher Schlüssel vom Empfänger für denjenigen des legitimen Senders gehalten wird. Dies kann z. B. durch Manipulation einer legitimen Nachricht, die den öffentlichen Schlüssel des Senders enthält, geschehen.

Das Verfahren von Rivest, Shamir und Adleman

Das von Rivest, Shamir und Adleman 1978 vorgestellte und nach den Initialen der Autoren benannte System RSA [108], [109] ist das bekannteste Verfahren für asymmetrische Kryptographie. Ein öffentlicher Schlüssel wird dadurch erzeugt, daß zwei große Primzahlen p und q zufällig ausgewählt werden. Das Produkt dieser Primzahlen sei mit $n = p \cdot q$ benannt. Es wird nun ein Element $e \in \mathbb{Z}_{\varphi(n)}^*$ zufällig bestimmt und der Wert d zu $d = e^{-1} \bmod \varphi(n)$ bestimmt. Das Tupel (n, e) wird nun als öffentlicher Schlüssel, d als geheimer Schlüssel betrachtet. Dabei müssen p, q , und $\varphi(n)$ ebenfalls geheim bleiben.

Um eine Nachricht zu verschlüsseln, muß der Absender den öffentlichen Schlüssel des Empfängers in Erfahrung bringen; dieser sei mit (n, e) bezeichnet. Für die Nachricht m sei angenommen, daß gilt $m \in \mathbb{Z}_n$. Das Chiffre berechnet sich dann zu $c = m^e \bmod n$. Sofern $m \notin \mathbb{Z}_n$, muß ein geeigneter Mechanismus zur Unterteilung von m in Teilnachrichten m_i verwendet werden, für die $m_i \in \mathbb{Z}_n$ gilt.

Um ein Chiffre $c \in \mathbb{Z}_n$ zu entschlüsseln, berechnet der Empfänger anhand seines geheimen d den Klartext zu $m' = c^d \bmod n$.

Hybrid-Verfahren

Da asymmetrische Verfahren in der Regel signifikant langsamer sind als symmetrische Verfahren, ist es sinnvoll, ein Hybridverfahren aus symmetrischen und asymmetrischen Chiffren zur Kommunikation zu verwenden. Dabei wird das asymmetrische Verfahren dazu genutzt, einen (vergleichsweise kurzen) Schlüssel für das symmetrische Verfahren zwischen den Parteien auszuhandeln. Dieser wird als Sitzungsschlüssel (session key) bezeichnet.

Soll dabei nur eine Nachricht versandt werden, wird ein zufälliger Sitzungsschlüssel k_r erzeugt und die Nachricht m mit diesem unter Verwendung eines symmetrischen Verfahrens E_s verschlüsselt $c_1 = E_s(k_r, m)$. Anschließend wird c_1 erneut unter Verwendung eines asymmetrischen Verfahrens E_a mit dem öffentlichen Schlüssel des Empfängers $k_{p,B}$ verschlüsselt $c_2 = E_a(k_{p,B}, c_1)$.

Sollen Nachrichten ausgetauscht werden, so wird vom Initiator der Verbindung ein zufälliger Sitzungsschlüssel k_r erzeugt und dieser mit dem öffentlichen Schlüssel des Empfängers $k_{p,B}$ unter Verwendung eines asymmetrischen Verfahrens E_a verschlüsselt $c = E_a(k_{p,B}, k_r)$. Nachdem der Empfänger dies entschlüsselt hat $k_r = D_a(k_{p,B}, c)$ können die Parteien anschließend k_r verwenden, um mittels eines symmetrischen Verfahrens E_s Nachrichten auszutauschen.

Ein Beispiel eines solchen hybriden Verfahrens ist Pretty Good Privacy (PGP) [132].

5.2.3 Secure Socket Layer - SSL

Secure Sockets Layer (kurz SSL) ist der de-facto Standard für die Gewährleistung von vertraulicher Kommunikation im WWW [20][21][19][22][23]. Ziel des Protokolls ist die Identifikation der Kommunikationspartner, das anschließende Aushandeln und der Austausch eines symmetrischen Sitzungsschlüssels und nachfolgend die Verschlüsselung der übertragenen Inhalte.

Das SSL-Protokoll realisiert in der Handshake Phase eine Authentisierung des Servers. Die Authentisierung des Servers erfolgt im Prinzip durch folgenden Schritte:

1. Der Server übermittelt sein Zertifikat.
2. Der Client verschlüsselt einen zufälligen Wert, das Pre-Mastersecret (PMS) mit dem Public Key des Server-Zertifikats und sendet dies an den Server.
3. Client und Server berechnen unter Einsatz von Hashfunktionen aus dem Pre-Mastersecret und den in Client Hello und Server Hello ausgetauschten Zufallswerten das sogenannte Mastersecret (MS). Das Mastersecret und Zufallswerte werden anschließend erneut durch Anwendung von Hashfunktionen in den Keyblock überführt.

Der Server authentisiert sich durch die Fähigkeit zur Entschlüsselung des PMS und damit der Kenntnis von Client/Server MAC Secrets, write Schlüssel und IVs (Initial Vectors). Die Authentisierung des Clients ist optional und erfordert im Gegensatz zu der des Servers eine Signatur; in einer Nachricht CertificateVerify übermittelt der Client als Antwort auf eine CertificateRequest-Nachricht des (nicht anonymen) Servers eine Signatur des Hashwertes von Mastersecret und allen bislang erfolgten Handshake-Nachrichten.

Seit der Version SSLv3.0 kann der Schlüssel durch die Initiierung eines neuen Handshakes zu beliebigen Zeitpunkten gewechselt werden. Ferner ist auch die Authentisierung von Zertifikaten durch die Übermittlung von Zertifikatsketten möglich, sofern die Statusabfrage nicht über Online-Abfragen wie OnlineCertificateStatusProtocol (OCSP) oder LDAP-Abfragen erfolgt.

Nicht-Abstreitbarkeit

SSL bietet keine Funktionalität für Nicht-Abstreitbarkeit (non repudiation) von Nachrichten. Bei Client-Authentisierung signiert der Client lediglich den Hashwert aller bis zu diesem Zeitpunkt ausgetauschten Nachrichten. Nach der ClientVerify-Nachricht erfolgen keine weiteren Signaturen. Dies ist durch Performanz-Erwägungen begründet. Da sämtliche Session Parameter Client und Server bekannt sind, können Beide beliebige Nachrichten einer fiktiven Kommunikation generieren. Daher kann von beiden Parteien kein Nachweis über erhaltene Nachrichten (nach ClientVerify) geführt werden. Zur Realisierung von nicht abstreitbaren Nachrichten, bspw. finanziellen Transaktionen, verbindlichen Angeboten und Bestellungen (Verträge) ist der Einsatz einer zweiten Kryptoschicht auf der Applikationsebene notwendig.

Persistente Verbindungen

HTTP/1.1 erlaubt die Verwendung persistenter Verbindungen [11]. Der Client sendet dazu einen Keep-Alive-Header an den Server, der signalisiert, daß dieser nach Verwendung der HTTP-Response die Verbindung nicht schließen, sondern den nächsten Request lesen soll.

Pipelining im Zusammenhang mit persistenten Verbindungen bedeutet, daß der Server mehrere Requests nacheinander über die Verbindung liest, an verschiedene Bedienprozesse verteilt und die Responses serialisiert zurückliefert.

Wird nun HTTP über eine SSL-Verbindung betrieben, bedeuten persistente Verbindungen, daß der SSL-Handshake (und damit die 1-2 Private/Public Key-Operationen) nur ein Mal pro persistenter Verbindung durchgeführt werden muß.

Wiederverwendung von Sessions (Session Caching)

Sowohl SSL v2 als auch v3 sehen die Möglichkeit vor, Session Parameter wiederzuverwenden. Der Zustand einer Session besteht auf Client- und Server-Seite aus den folgenden Elementen: Session Identifizierer (ID), Peer Zertifikat (kann leer sein), Kompressions-Verfahren, gewählte Chiffren und MAC und Master Secret.

Sofern Session Caching unterstützt wird, cachet Client und Server nach Beendigung einer „erfolgreichen“ Verbindung diesen Zustand. Der Client kann die Fortsetzung der Session, d.h. Aufnahme einer Verbindung zum Server mit den bereits etablierten Parametern (Chiffren, MS etc.), durch Übermittlung der Session ID in der Client Hello Nachricht initiieren.

Findet der Server diese Verbindung in seinem Cache und ist er willens, die Verbindung in diesem Zustand wieder aufzunehmen, sendet er eine ServerHello-Nachricht mit der Session ID, sonst eine neue. Client und Server senden daraufhin Change Cipher Spec und Finished Nachrichten aus. Anschließend werden Applikationsdaten ausgetauscht. Es sei erwähnt, daß Client und Server in den Hello-Nachrichten neue Zufallswerte (Nonces) austauschen. Aus diesen und dem MS werden, wie bereits beschrieben, keyblocks und damit write keys, mac secrets und IVs generiert.

Bei Nutzung gecache'ter Sessions verkürzt sich der Handshake (auf 6 Nachrichten), es sind keinerlei Private/Public Key Operationen notwendig. Die Verwendung von Session Caching im Falle von HTTPS (HTTP über SSL gesicherte Verbindung) ist eine Notwendigkeit. Ohne Caching und persistente Verbindungen würde das Laden einer Web-Seite, die n Grafiken enthält, $n+1$ SSL Handshakes erfordern. Im Falle von persistenten Verbindungen wird nur ein Handshake notwendig, allerdings müssen die Responses serialisiert werden.

Mittels Session Caching würde die genannte Web-Seite zu n -maliger Nutzung der Session führen, die Responses würden unabhängig voneinander geliefert (entsprechendes Browser-Verhalten durch parallele Anfragen vorausgesetzt).

5.2.4 Elektronische Signaturen

Ein weiterer Verwendungszweck für asymmetrische Verfahren besteht darin, die Authentizität von Daten nachzuweisen, oft auch als elektronische Unterschrift (Signatur) bezeichnet. Dabei wird bei dem oben angegebenen Verfahren die Verwendung von öffentlichem und geheimem Schlüssel vertauscht:

- ▶ Der Sender A chiffriert die Nachricht m mit seinem geheimen Schlüssel $k_{s,A}$: $c = E(k_{s,A}, m)$.
- ▶ Jeder, der im Besitz des öffentlichen Schlüssels von A ist, ist in der Lage, mit dem korrespondierenden Schlüssel $k_{p,A}$ die Nachricht zu dechiffrieren: $m = D(k_{p,A}, c)$.

Somit ist A in der Lage, zu beweisen, daß er die Nachricht m versandt hat. Allerdings wird aufgrund der Komplexität asymmetrischer Verfahren für gewöhnlich nicht die Nachricht selbst verschlüsselt, sondern das Ergebnis einer Reduktionsfunktion (Hash-Funktion), die eine möglichst gleichverteilte und kollisionsfreie Abbildung von Nachrichten beliebiger Länge auf eine feste aber beliebige Anzahl von Bits realisiert. Der Empfänger muß auf die Nachricht dieselbe Reduktionsfunktion anwenden, das asymmetrisch verschlüsselte Resultat der Hash-Funktion entschlüsseln und die beiden Ergebnisse vergleichen. Sofern diese identisch sind, entspricht die empfangene Nachricht der vom Absender autorisierten.

Elektronische Signaturen können auch zur Sicherstellung der Authentizität von öffentlichen Schlüsseln verwendet werden. Sofern zumindest eine Assoziation zwischen einem öffentlichen Schlüssel und einer Identität bekannt ist, und dieser vertraut wird, so können von dieser Person geleistete digitale Signaturen auf den öffentlichen Schlüsseln Dritter als Beweis der Authentizität dieser Schlüssel verwendet werden, wenn der Unterschreibende hinreichende Sorgfalt bei der Überprüfung der Verknüpfung walten läßt.

Hash-Verfahren

Eine Hash-Funktion H ist eine Funktion, die eine Kette variabler Länge von Symbolen m als Parameter annimmt und eine Kette von Symbolen fester Länge h als Ergebnis aufweist, d.h. $h = H(m)$.

Kryptographische Hash-Funktionen müssen die folgenden Anforderungen erfüllen [110]:

- ▶ Der Eingabeparameter kann von beliebiger Länge sein.
- ▶ Das Ergebnis besitzt eine feste Länge.
- ▶ $H(x)$ ist für jedes gegebene x effizient berechenbar.
- ▶ $H(x)$ ist eine Einwegfunktion, d.h. gegeben für ein h existiert keine effiziente Berechnungsvorschrift, um ein x zu bestimmen, so daß $H(x) = h$ gilt.
- ▶ $H(x)$ ist frei von Kollisionen.

Insbesondere die Forderung nach Kollisionsfreiheit ist schwer erfüllbar, jedoch für viele Anwendungen wie auch in dieser Arbeit ein wesentliches Kriterium: Es wird erwartet, daß keine effiziente Berechnungsvorschrift existiert, um je zwei Eingabewerte x und y zu finden, so daß $H(x) = H(y)$ gilt. In abgeschwächter Form (schwache Kollisionsfreiheit) hingegen fordert man nur, daß keine effiziente Berechnungsvorschrift existiert, um für eine gegebene Eingabe x eine weitere Eingabe y (mit $x \neq y$) zu finden, so daß $H(x) = H(y)$ gilt.

MD5

MD5 (Message Digest 5) wurde 1992 von Rivest vorgestellt [111] und stellt eine Überarbeitung des ebenfalls von Rivest vorgestellten MD4 dar; der Algorithmus erzeugt als Ergebnis einen Hash-Wert von 128 Bit Länge. MD5 ist langsamer, aber auch deutlich sicherer als MD4; bereits 1996 gelang es allerdings, Kollisionen für MD5 mit vertretbarem Aufwand zu erzeugen [112]. Damit ist MD5 zwar für viele Anwendungen (z. B. zur Überprüfung der Integrität von Dateien) noch geeignet, nicht jedoch für kryptographische Anwendungen wie die Erzeugung digitaler Signaturen.

SHA-1

Der Secure Hash Algorithm (SHA) wurde vom National Institute of Standards and Technology (NIST) der USA zunächst 1993 als Federal Information Processing Standard 180 FIPS veröffentlicht [101]; von der Anlage her verdankt auch SHA dem Algorithmus MD4 seine Grundkonzepte. Der Algorithmus wurde zur Verwendung im Digital Signature Algorithm (DSA) gemäß dem Digital Signature Standard (DSS) entwickelt. Aufgrund neuerer Erkenntnisse bezüglich der Sicherheit von SHA wurde 1995 mit FIPS 180-1 eine Revision [103] von SHA veröffentlicht; diese derzeit gültige Version des Standards wird korrekt als SHA-1 bezeichnet.

Der Algorithmus erzeugt als Ergebnis einen Hash-Wert von 160 Bit Länge. Ein Eingabewert der Länge b Bits wird hierbei so aufgefüllt, daß er kongruent zu $448 \bmod 512$ ist; an eine Nachricht wird dabei zumindestens ein „1“-Bit sowie die notwendige Anzahl von „0“-Bits angefügt, um die Länge wieder kongruent zu $448 \bmod 512$ zu erhalten. Dabei werden mindestens 1 Bit, höchstens jedoch 512 Bit angefügt. An die so erhaltene Nachricht wird die als vorzeichenlose Zahl mit 64 Bit Präzision codierte Länge der Nachricht (d.h. b) angefügt. Damit weist die Nachricht eine Länge auf, die ein Vielfaches von 512 Bit ist. Dann startet die Hauptschleife, die aus vier Runden besteht. Jede Operation führt mit dreien der Werte eine nichtlineare Funktion durch und anschließend eine Verschiebung und Addition.

5.2.5 Digitale Wasserzeichen

Die Steganographie befaßt sich mit Verfahren zum Verbergen der Existenz einer Nachricht. Im Gegensatz zur Verschlüsselung wird davon ausgegangen, daß ein Angreifer in den Besitz des Chiffrats erlangt. Aus diesem Bereich stammen auch die digitalen Wasserzeichen, die wie folgt definiert werden können:

Definition 21: Als **digitale Wasserzeichen** bezeichnet man Verfahren, mit denen sich zusätzliche Informationen so in Nutzdaten einbringen lassen, daß durch das Einbringen der Zusatzdaten die Wahrnehmung der Benutzer der eigentlichen Daten unverändert bleibt.

Laut Katzenbeisser und Petitcolas [120] findet man die folgenden drei Eigenschaften in allen Verfahren für digitale Wasserzeichen, die in der Praxis eingesetzt werden:

- ▶ **Nichtwahrnehmbarkeit.** Das Einbringen eines digitalen Wasserzeichens führt zu einer Änderung des Dokumentinhalts. Jedoch sollte diese Änderung unterhalb der Wahrnehmungsschwelle eines menschlichen Betrachters sein. Daher dürfen die Änderungen nur minimal sein.
- ▶ **Redundanz.** Um die eingebettete Wasserzeicheninformation möglichst robust gegen Veränderungen zu machen, werden diese Informationen redundant über die Nutzdaten verteilt. So kann die Wasserzeicheninformation normalerweise auch dann noch extrahiert werden, wenn nur noch Teile des ursprünglichen Dokuments zur Verfügung stehen. Es ist offensichtlich, daß die Extraktion umso robuster ist, je mehr von der ursprünglichen Information zur Verfügung steht
- ▶ **Schlüssel.** Die meisten Wasserzeichenverfahren verhindern durch den Einsatz von kryptographisch sicheren Schlüsseln, daß Wasserzeichen manipuliert oder gelöscht werden können. Sobald eine Person ein Wasserzeichen auslesen kann, ist sie auch in der Lage, es zu zerstören, denn sie kennt nicht nur das verwendete Verfahren sondern auch den Ort an dem die Wasserzeicheninformation eingebracht wurde.

Die Verfahren für das Einbringen von digitalen Wasserzeichen sind spezifisch für den jeweiligen Medientyp. Es gibt z.B. Verfahren für Rasterbilder, Audio und Video [124] sowie in einem frühen Stadium auch für Vektorzeichnungen, Geometriedaten [125], [126].

Digitale Wasserzeichen können für unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden, entsprechend gibt es weitere Unterschiede in den Eigenschaften der Wasserzeichen.

- ▶ Annotation Watermarks. Hier ist das Ziel, in die Nutzdaten eine Identifikation der Daten einzubringen. Diese Identifikation kann dann dazu genutzt werden von den Nutzdaten auf zusätzliche Informationen oder Dienste zuzugreifen.
- ▶ Reversible Wasserzeichen. Diese Verfahren erlauben, daß die Wasserzeicheninformation entfernbar ist. Somit sind die Nutzdaten nach der Entfernung des Wasserzeichen identisch mit den Ausgangsdaten.
- ▶ Fragile Wasserzeichen. Deren hauptsächlicher Anwendungszweck ist die Integritätsprüfung. Hier wird erwartet, daß jede Änderung der Daten die Zerstörung des eingebetteten Wasserzeichens zur Folge hat.
- ▶ Robuste Wasserzeichen. Hier sollen die Wasserzeichen nicht aus den Nutzdaten entfernt werden können, ohne daß es zu signifikanten Qualitätsverlusten bei der Darstellung der Nutzdaten kommt. Auch sollen sie solche Transformationen unbeschadet überstehen, die die Wahrnehmung der Daten durch einen Betrachter nicht verändern.

Für diese Arbeit von Relevanz sind robuste Wasserzeichen, bei denen Angreifer die eingebrachten Zusatzinformationen nicht aus den Nutzdaten entfernen können, ohne daß es zu signifikanten Qualitätsverlusten bei der Darstellung der Nutzdaten kommt.

5.2.6 Authentisierungsverfahren

Als „Authentisierung“ wird der Nachweis einer angegebenen Identität gegenüber einem Kontrollsystem verstanden, üblicherweise zum Zweck der Zugangskontrolle, zur Durchführung eines bestimmten Protokolls oder aber zur Überprüfung der berechtigten Nutzung einer Ressource. Verläuft die Authentisierung einer Person (oder eines Systems) erfolgreich, dann wird diese durch das Kontrollsystem autorisiert bestimmte Rechte ausüben, die an die angegebene Identität gebunden sind, bzw. das Kontrollsystem führt das Protokoll unter der Annahme weiter, daß die authentifizierte Person wirklich die angegebene Identität besitzt.

Die Authentisierung hat darüber hinaus eine zeitliche Dimension: sie gewährleistet bei erfolgreichem Abschluß, daß die authentifizierte Person für die Dauer der Authentisierung am Protokoll teilgenommen hat. Ein Protokoll zur Authentisierung muß darüber hinaus folgende Anforderungen erfüllen [114]:

- ▶ Das Kontrollsystem darf sich nach Durchführung des Authentisierungsprotokolls mit einer Person A einem anderen Kontrollsystem gegenüber nicht als A ausgeben können.
- ▶ Die Wahrscheinlichkeit, daß sich eine andere Person B dem Kontrollsystem gegenüber erfolgreich als A ausgeben kann, muß vernachlässigbar klein sein.

Man unterscheidet drei prinzipielle Arten von Authentisierungsmethoden, die häufig auch kombiniert eingesetzt werden. Dies sind die Authentisierung durch *Wissen*, durch *Besitz* oder durch *persönliche Merkmale* (Biometrie).

Authentisierung durch Wissen

Häufigster und weit verbreiteter Vertreter von Authentisierungsmechanismen durch Wissen ist die Paßwortabfrage. Der Benutzer gibt eine Benutzer-ID und ein Paßwort ein; die Benutzer-ID ist die zu überprüfende Behauptung, die mittels Paßwortkontrolle verifiziert wird. Hierbei wird zwischen statischen und One-Time-Paßwörtern unterschieden. Während statische Paßwörter ihre Gültigkeit behalten, bis sie geändert werden oder ihre Gültigkeit abläuft, können One-Time-Paßwörter nur einmal genutzt werden und verfallen dann (wie beispielsweise beim Homebanking). Werden One-Time Paßwörter genutzt, dann erhält eine autorisierte Person bei der Erteilung der Zugangsberechtigung üblicherweise gleich eine Reihe von One-Time Paßwörtern. Sind alle One-Time Paßwörter verbraucht, dann müssen neue angefordert werden.

Statische Paßwörter behalten ihre Gültigkeit, bis sie geändert werden oder ihre Gültigkeit abläuft. Das hat den Nachteil, daß ein einmal kompromittiertes Paßwort von einem Angreifer genutzt werden kann, bis der Mißbrauch erkannt wurde oder das Paßwort im Zuge eines regulären Zyklus geändert wird. Auch nach einer Änderung des Paßwortes bleibt das System weiterhin kompromittiert, wenn es dem Angreifer möglich war, den temporären Zugang zum Anbringen einer Hintertür im System zu nutzen.

One-Time-Paßwörter können nur einmal genutzt werden und verfallen dann. Damit beseitigen sie einige der Nachteile von statischen Paßwörtern. Ein Angreifer, der ein statisches Paßwort erlauscht, ist in der Lage, dieses einfach wieder einzuspielen und so Zugang zum System zu erlangen. Dazu ist lediglich ein passiver Angriff erforderlich. Möchte der Angreifer aus einem erlauschten One-Time-Paßwort Nutzen ziehen, ist ein aktiver Angriff mit entsprechend höherem Risiko und Aufwand erforderlich, denn der Angreifer muß darüber hinaus verhindern, daß das Paßwort an das Kontrollsystem gesendet und von diesem akzeptiert und somit auch invalidiert wird. Es gibt verschiedene Schemata, um One-Time-Paßwortsysteme aufzubauen. Die gebräuchlichste Variante besteht aus der zufälligen Generierung einer Paßwortliste, auch „Codebook“ genannt. Ein großer Nachteil von Systemen, die auf One-Time-Paßwörtern aufgebaut sind, ist die Menge der

Informationen, die sich ein Benutzer prinzipiell merken müßte. Dies führt dazu, daß die Paßwortlisten aufgeschrieben, ausgedruckt oder notiert werden und somit gestohlen werden oder verloren gehen können. Aus diesem Grund werden One-Time-Paßwortsysteme häufig durch zusätzliche Hardware realisiert, die z. B. zeitabhängig One-Time-Paßwörter generieren und ggf. mit einer benutzerspezifischen PIN gegen unbefugte Benutzung gesichert sind. Man kombiniert also hier Authentisierung durch Besitz (Hardware Token) mit Authentisierung durch Wissen (statische Benutzer PIN).

Diese Grundidee hinter den Challenge-Response Protokollen ist es, im Rahmen der Authentisierung zu „beweisen“, daß man im Besitz eines Geheimnisses ist, ohne jedoch das Geheimnis selbst zu übertragen. Dazu werden challenges verwendet, üblicherweise zufällig oder zeitabhängig gewählte Werte, die bei jeder Authentisierung unterschiedlich sind. Der Wert, der zur Authentisierung verwendet wird, ist abhängig sowohl vom (gemeinsamen) Geheimnis als auch von der gewählten challenge. Challenges dienen dazu, ein Protokoll zur Authentisierung gegen Wiedereinspielung oder Interleaving Angriffe [114] zu schützen.

Eine dritte große Klasse von Authentisierungsverfahren - die Authentisierung mittels Zero-Knowledge-Beweisen (Nullwissenbeweise) - zielt darauf ab, es einer beweisenden Partei A zu erlauben, einer verifizierenden Partei B Kenntnis eines Geheimnisses zu demonstrieren, ohne daß wie auch immer geartete Informationen über das Geheimnis selbst preisgegeben werden, die B vor Durchführung des Protokolls nicht hätte selbst berechnen können. Die generelle Struktur eines Zero-Knowledge-Beweises ist ein Drei-Phasen Protokoll:

1. Der Beweiser A wählt aus einer wohldefinierten Menge einen Zufallswert als „Verpflichtung“ und berechnet daraus einen „Zeugen“ (engl. witness). Dies dient einerseits dazu, das Protokoll für mehrere Durchläufe zufällig zu variieren und definiert darüber hinaus eine Reihe von Fragen, zu denen der Beweiser behauptet, die Antwort zu kennen. Das Protokoll ist so konstruiert, daß nur der legitime Beweiser alle Fragen beantworten kann und die Beantwortung einer Frage dem Verifizierer nicht mehr Informationen zum Brechen des zu Grunde liegenden Geheimnisses gibt, als dieser ohnehin schon hat. Der Zeuge wird nun zum Verifizierer B gesendet.
2. B sendet eine challenge an A, mit der er eine bestimmte der Fragen auswählt.
3. A sendet die Antwort auf die gewählte Frage, die von B auf Korrektheit überprüft wird.

Ein solcher Beweis ist jedoch kein strikter Beweis im mathematischen Sinne, sondern ist nach erfolgreicher Überprüfung mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit korrekt. Der Verifizierer kann das Protokoll nun solange wiederholen, bis die Wahrscheinlichkeit eines Irrtums durch Multiplikation der einzelnen Fehlerwahrscheinlichkeiten hinreichend klein geworden ist. Zero-Knowledge-Beweise haben einige Vorteile gegenüber der Authentisierung mittels Paßwörtern oder auch Challenge-Response-Protokollen: ihre Sicherheit wird durch mehrfache Anwendung nicht herabgesetzt, sie sind nicht anfällig gegen chosen-text-Angriffe und sie erfordern keine Verschlüsselung, die auf Grund politischer Rahmenbedingungen u. U. nicht eingesetzt werden kann oder soll. Detaillierte Beschreibung zu Zero-Knowledge-Protokollen findet man in [114] und [115].

Authentisierung durch Besitz

Klassische Mechanismen zur Authentisierung durch Besitz sind physikalische Schlüssel und Ausweise. Im Prinzip stellen diese eine Form von Zertifikat dar, das vom Inhaber vorgewiesen wird. Der Verifizierer überprüft anhand bestimmter Merkmale die Echtheit des Zertifikates, wobei nur der legitime Aussteller des Ausweises in der Lage sein sollte, mit vertretbarem Aufwand diese Merkmale zu produzieren (Unfälschbarkeit). Ausweise sind darüber hinaus üblicherweise durch ein Photo oder ähnliches an den Inhaber gebunden, wodurch sichergestellt werden soll, daß nur der rechtmäßige Eigentümer des Ausweises diesen auch zur Authentisierung verwenden kann. Andere Mechanismen, wie beispielsweise physikalische Schlüssel, sind nicht personengebunden.

Bei Informationssystemen kommt als „Zertifikat“ meistens eine Chipkarte zum Einsatz. Chipkarten können geheime Schlüssel auf sichere Weise speichern und Kryptoalgorithmen auf der Karte selbst ausführen. Die zur Authentisierung verwendeten Verfahren sind dabei prinzipiell diejenigen der Authentisierung durch Wissen. Die Chipkarte dient als (sicherer) Speicher für Informationen, die sich ein Mensch nicht merken kann oder will, weil sie zu umfangreich oder schwer zu behalten sind. Die Hauptaufgabe der Chipkarte ist der Schutz der gespeicherten Daten gegen unerwünschten Zugriff. Die Methoden zur Sicherung des physikalischen Speichers sind vielfältig und beinhalten häufig wiederum eine Kontrolle des Zugriffs (und dementsprechend auch eine Authentisierung) auf den Speicher selbst, wobei Methoden der Authentisierung mittels Wissen eingesetzt werden (PIN Abfrage). Hier können auch biometrische Verfahren Anwendung finden, so können z. B. Chipkarten durch die Integration von Hardware zum Scannen von Fingerabdrücken an Personen gebunden werden.

Authentisierung durch persönliche Merkmale (Biometrische Verfahren)

Biometrische Identifizierungsverfahren basieren auf der Überprüfung eines oder mehrerer individuellen, biologischen Merkmale einer Person, die nicht schnell variieren. Biometrische Merkmale sind nicht wie eine PIN oder ein Paßwort auf andere Menschen übertragbar. Bei diesem Verfahren identifiziert man die Person selber und nicht ein Geheimnis. Ein biologisches Merkmal muß folgende Punkte erfüllen, damit es für Identifizierungszwecke eingesetzt werden kann:

- ▶ Das Merkmal muß eindeutig einer einzigen Person zugeordnet werden können.
- ▶ Die Veränderungen des Merkmals über die Zeit dürfen nicht die Identifikation beeinträchtigen.
- ▶ Das Merkmal muß hinsichtlich Meßmethode, Meßdauer und Meßkosten technisch geeignet sein.
- ▶ Die Meßmethode und das Merkmal müssen von den Anwendern akzeptiert werden.
- ▶ Die erzeugten Referenzdaten müssen technisch handhabbar sein (maximal wenige hundert Bytes).
- ▶ Die Betrugsmöglichkeit muß ausgeschlossen sein.

Am geeignetsten sind solche physiologischen Merkmale, die nicht gezielt geändert werden können. Hierzu zählen etwa die charakteristischen Muster von Fingerabdrücken, die sich im gesamten Leben nie ändern, oder die Blutgefäße der Netzhaut. Auch biometrische Merkmale, die man bewußt ändern kann, wie z.B. die Stimme oder die Unterschrift, kann zur Authentisierung eingesetzt werden, vorausgesetzt, daß es unmöglich ist, die Merkmale anderer Personen so nachzuahmen, daß es zu einer korrekten Authentisierung führt. In gängigen biometrischen Identifikationssystemen verwendete biologische Merkmale sind: Gesicht, Netzhautmuster, Iris, Handgeometrie, Fingerabdruck, Stimme und Unterschrift. Weitergehende Informationen zu biometrischen Daten findet man auch in [129] und [130].

Welches Maß an Sicherheit erreichbar ist, ist immer ein Kompromiß zwischen der vorhandenen Gefährdung und dem Aufwand, den man zur Behebung von Sicherheitslöchern aufzuwenden bereit ist. Um entscheiden zu können, welche Schutzmaßnahmen notwendig und angebracht sind, muß als erstes identifiziert werden, welche Werte es zu schützen gilt, welche Bedrohungen existieren und welche Schäden sich aus diesen Bedrohungen ergeben können.

6.1 Identifizierung der zu schützenden Werte

Wegen seiner zentralen Rolle in der Wissensvermittlung ist Lernmaterial sicherlich ein zu schützendes Gut. Im folgenden soll aufgezeigt werden, was genau den Wert von Lernmaterial ausmacht. Weiterhin wird erläutert, warum auch die Integrität der Zertifizierung schützenswert ist.

6.1.1 Lernmaterial als wertvolles Gut

Ein Sprichwort besagt „Wissen ist Macht“. Dies gilt heute in zunehmendem Maß auch im kommerziellen Sektor. Hier haben Patente und andere urheberrechtliche Schutzrechte immer größere Bedeutung gewonnen.

Wissen als Produktionsmittel

Die Anreicherung und Verfügbarkeit (Zugreifbarkeit) von Wissen ist ein essentieller Faktor für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens oder einer Institution (siehe auch [36]). Institutionen müssen dabei bestrebt sein, sich kontinuierlich Wissen anzueignen und das Wissen so zu verteilen, daß es auch dann noch der Institution zur Verfügung steht, wenn wichtige Mitarbeiter die Institution verlassen. Gerhard Fischer spricht in diesem Zusammenhang von einem Organisationsgedächtnis [34]. Während früher die Vermittlung des Wissens im wesentlichen vor dem Eintritt in das Arbeitsleben stattfand, hat sich durch die enorm schnelle technische Entwicklung eine kurze Halbwertszeit für das Wissen ergeben. In der Konsequenz muß Wissen nebenläufig zur Berufstätigkeit erworben werden. Es gilt in immer kürzerer Zeit immer mehr Wissen zu meistern. Eine Einzelperson ist nicht mehr in der Lage, alle Aspekte im Detail zu beherrschen, sondern sie muß sich auf die für sie relevanten Aspekte konzentrieren. Daraus ergeben sich neue Anforderungen an das Lernen. Das Lernen entwickelt sich hin zu einem lebenslangen Lernen auf Bedarf.

Die Möglichkeit, sich notwendiges Wissen innerhalb kürzester Zeit aneignen zu können, wird also zu einem wichtigen Faktor für den Erfolg, sowohl für die Institution als auch für den Einzelnen. Bekommt Wissen eine derartige Bedeutung, dann wird es zu einer wichtigen Ressource, die nicht ohne weiteres jedermann zur Verfügung stehen soll. Gewünscht ist daher einerseits die Möglichkeit, neues Wissen schnell und leicht weitergeben zu können aber andererseits die Verbreitung von neuem Wissen auch beschränken zu können, z.B. wenn dieses Wissen firmeninterne Information enthält.

Wissen als Ware

Wissen wird immer mehr zu einer wertvollen Ware und die Vermittlung von Wissen zu einer begehrten Dienstleistung. Es ist auch möglich, daß Trainingsprovider als Eigenleistung lediglich die technischen und organisatorischen Ressourcen bereitstellen und das Lernmaterial von anderen darauf spezialisierten Institutionen entwickeln lassen oder es gar im Namen von Anderen anbieten, so z.B. die Deutsche Telekom mit ihrer Global Learning Plattform [67]. Daß dies ein nicht unbedeutender Markt ist, zeigt die Tatsache, daß bereits 1997 sieben Prozent des Bruttosozialprodukts der USA mit Transaktionen über geistiges Eigentum erwirtschaftet wurden. Eine Studie, die 1996 von Economist's, Inc für die International Intellectual Property Alliance (IIPA) durchgeführt wurde, zeigt, daß die Copyrightindustrie im Mittel etwa doppelt so schnell wächst wie die sonstigen Wirtschaftszweige.

Wissensvermittlung und die damit verbundenen Dienstleistungen werden immer mehr zu attraktiven Geschäftsfeldern. Das zeigt Tabelle 13 aus einer Studie der International Data Corporation (IDC) aus dem Jahr 1997 (entnommen aus [30]). Auch eine neuere Studie aus dem Jahr 2000 sagt für das Geschäftsfeld IT-basiertes Training ein jährliches Umsatzwachstum von 12% voraus, von 19 Milliarden \$ im Jahr 1999 auf geschätzte 34 Milliarden \$ im Jahr 2004 [37]. Es ist abzusehen, daß sich auch um Lernmaterial ein Markt mit einer breiten Spanne von Berufen entwickeln wird, genauso wie es bei Büchern, Bildern oder auch Musik schon der Fall ist. Dort gibt es neben den Autoren, Malern, Graphikern und Musikern, die diese Art von medialen Werken erstellen, auch Verlage, Bildagenturen und Plattenfirmen, die die Erzeugnisse der ersten Gruppe handeln. Bücher sind seit langem ein unverzichtbarer Bestandteil der Wissensvermittlung. Buchver-

Geschätzte durchschnittliche reale Zuwachsrate pro Jahr

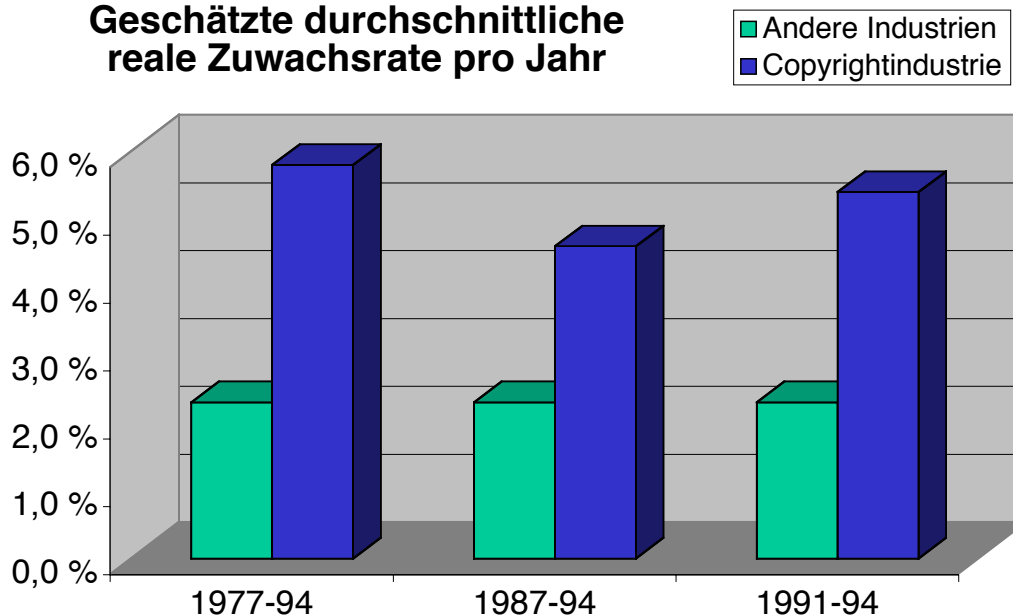


Abbildung 41. Vergleich Wachstum Copyrightindustrie mit übriger Wirtschaft

	1996	2001	Wachstumsrate
Weltweit	6.4 Mrd. \$	27.9 Mrd. \$	11.2%
USA	7.1 Mrd. \$	12.9 Mrd. \$	12.7%
USA (nur WWW-basiert)	74 Mio \$	3.4 Mrd. \$	109.7%

Tabelle 13. Umsätze im Bereich IT-basiertes Training

lage sind daher bereits jetzt im Lernmarkt aktiv (Lehrbücher) und verfügen bereits über die entsprechenden Inhalte. Für sie ist es naheliegend, diese Inhalte von dem Medium Buch auf das Medium Computer zu übertragen und sich so neue Märkte zu erschließen. Gemeinsam ist dem Markt der traditionellen Medien und der neuen Medien (elektronische Bücher, Software und auch Lernmaterial), daß die Multimediadaten die Grundlage bilden, auf deren Basis alle Beteiligten wirtschaften.

Für eine Ausbildungseinrichtung stellt sein Lernmaterial, als die Codierung des Fachwissens und der Expertise in der Wissensvermittlung der Lehrer, somit sein eigentliches Kapital dar. Der Schutz des Kapitals als Unternehmenswert vor Bedrohungen liegt im Interesse der Institution. Dazu zählt der Schutz vor unberechtigtem Zugriff (Zugangskontrolle), unrechtmäßiger Weitergabe und auch die Wahrung des Urheberrechts. Die Möglichkeit, das geistige Eigentum an Lernmaterial zweifelsfrei nachweisen zu können, ist eine wichtige Voraussetzung für die gerechte Ausschüttung der Nutzungsentgelte.

Hoher Erstellungsaufwand Lernmaterial

Wie in Abschnitt „2.4.1 Die drei Lernmaterialebenen“ dargelegt, erfordert die Erstellung von Lernmaterial das Einbringen von inhaltlichem Fachwissen, pädagogischen und didaktischen Kenntnissen, Designaspekten sowie unterschiedlicher technischer Fähigkeiten, wie die Programmierung von Applets oder Simulationen sowie die weite Palette der Multimediabearbeitung (Graphiker, Tontechniker, Videoschnitt usw.). In Abschnitt „4.2.1 Die drei Lernmaterialebenen in MTS“ wurde gezeigt, wie sich durch Verwendung eines Modulkonzepts auch auf technischer Ebene dieses Schichtenkonzept umsetzen läßt. Durch die Separierung der unterschiedlichen Ebenen läßt sich für die jeweiligen Experten ein ihrer Abstraktionsebene besser angepaßter Umgang mit dem Lernmaterial realisieren. So lassen sich zwar bessere Werkzeuge entwickeln, mit denen ein Experte Lernmaterial einfacher erstellen kann, aber dies ändert nichts an der Komplexität der Aufgaben, insbesondere bedarf es noch immer derselben Qualifikationen und des Wissens von Experten. Die Erfahrungen aus den Projekten DEDICATED und IDEALS legen folgende Faustregel nahe: Für die Erstellung von 1 Stunde qualitativ hochwertigen Lernmaterials muß man einen Arbeitsaufwand von bis zu 100 Mannstunden ansetzen. Alfred Bork schätzt die Kosten für das Erstellen von hochqualitativem und hochinteraktiven Lernmaterial auf 30000 \$ pro Kursstunde [31]. Der offensichtliche Wert entsteht durch den Zeitaufwand, den hochqualifizierte Experten in die Übertragung ihrer Expertise in Lernmaterial investieren, und ein Trainingsprovider wird sein Urheberrecht geschützt wissen wollen, insbesondere wenn er kommerzielle Interessen verfolgt. Da Lernmaterial aber digital abgelegt, verteilt und verarbeitet wird, ist es kein Problem, es zu kopieren und weiterzugeben.

Insbesondere in einem kommerziellen Umfeld bedeutet aber jede unerlaubte Weitergabe von Lernmaterial durch einen Schüler einen finanziellen Nachteil.

6.1.2 Integrität der Zertifizierung

Der Aufbau und die kontinuierliche Erweiterung von Wissen und Fähigkeiten ist eine Kernqualifikation in der Informationsgesellschaft. Die Art (Fachgebiet und Umfang) und Güte (Note) seiner Qualifikation sind von entscheidender Bedeutung für den beruflichen Werdegang eines Menschen. Wegen der Bedeutung dieser Qualifikationen haben sich formale Methoden zum Nachweis von Qualifikationen entwickelt. Mit der Vergabe von Zertifikaten (Schul- und Hochschulabschlüsse sowie Berufsabschlüsse aber z.B. auch Führerscheine) bestätigt eine Ausbildungseinrichtung, daß eine Person über eine bestimmte Qualifikation verfügt. Das Vertrauen, das einem Zertifikat bzw. der ausbildenden Institution entgegengebracht wird, gründet sich nicht nur auf die Reputation des Lehrkörpers, sondern auch auf objektive, qualitätssichernde Maßnahmen in der Ausbildung selbst (siehe auch Abschnitt „Der Reviewprozeß“ auf Seite 79) und den Prüfungsereignissen, die zum Erwerb eines Zertifikats führen.

Während man getrost darauf vertrauen darf, daß Ausbildungseinrichtungen ihre Zertifikate nach bestem Wissen und Gewissen vergeben, stellt sich doch die Frage, wie zutreffend die von einem Zertifikat bescheinigte Bewertung des Schülers ist. Die Verlässlichkeit ihrer Zertifikate ist Grundvoraussetzung für die Reputation einer Ausbildungseinrichtung. Daneben gibt es Aspekte, die stärker im Blickfeld stehen: vermittelte Inhalte, verfügbare Lernressourcen und Qualität der Ausbildung. Diese Aspekte werden jedoch gegenstandslos, wenn man dem Zertifikat nicht trauen kann. Idealerweise lernt ein Schüler, um sich Wissen bzw. Fähigkeiten anzueignen. In der Praxis ist aber wegen der Bedeutung für den zukünftigen Karriereweg das Absolvieren der Prüfungen und der Erwerb des Zertifikats ein übergeordnetes Ziel, und man muß davon ausgehen, daß es auch Schüler gibt, die versuchen werden, dieses Ziel durch den Einsatz unzulässiger Mittel zu erreichen, d.h. durch Manipulation des Zertifizierungsprozesses.

6.2 Identifizierung der Bedrohung

6.2.1 Vertraulichkeit

Es gibt zwei Aspekte von Vertraulichkeit die beim Lernen von Relevanz sind.

Vertraulichkeit des Lernprozesses

Von Seiten der Schüler besteht der Wunsch nach der Transparenz des Wissensdefizits, d.h. es soll nur ihm und dem Lernsystem bzw. Lehrer bekannt sein, zu welchen Themen er momentan Lernmaterial bearbeitet. Auch die Information, wieviel von dem Wissen er sich bereits angeeignet hat, soll vertraulich sein.

Aus den Informationen im Benutzerprofil eines Schülers lassen sich vielfältige Einsichten über diesen gewinnen: über welches Wissen und Fähigkeit er verfügt, aber auch über seine Vorlieben, Interessen und intellektuellen Möglichkeiten. Dabei handelt es sich um sehr persönliche Daten. Weil diese für die Durchführung der Wissensvermittlung notwendig sind, wird der Schüler einverstanden sein, daß der Trainingsprovider diese Daten sammelt. Allerdings will ein Schüler nicht, daß diese Informationen anderen Personen oder Institutionen zugänglich gemacht werden oder für andere Zwecke als das Lernen verwendet werden. Auch muß den rechtlichen Bestimmungen (Datenschutz) für solche personenbezogenen Daten Genüge getan werden.

Dies ist ein sehr interessantes und wichtiges Themengebiet. Allerdings wirft es mehr Fragen auf, als im Rahmen dieser Arbeit beantwortet werden können. Daher konzentriert sich diese Arbeit auf den zweiten Aspekt von Vertraulichkeit.

Vertraulichkeit der Inhalte

Da es in der Natur von Kursmaterial liegt, daß es an Dritte weitergegeben werden muß, um seine Bestimmung zu erfüllen, könnte man annehmen, daß Datendiebstahl und Industriespionage keine große Bedrohung sind im Bereich WWW-basierte Aus- und Weiterbildung. Aber gerade in B2B-Lernszenarios können auch die zu vermittelnden Inhalte schützenswert sein. Wenn z.B. eine Firma ihre Mitarbeiter schult, z.B. über interne Prozeduren, neue Produkte oder neue Geschäftsstrategien, dann enthält das dafür verwendete Lernmaterial sicherlich auch Informationen, die vor dem Zugriff der Konkurrenz und anderer Außenstehender geschützt werden muß.

6.2.2 Zuverlässige Benutzerauthentisierung

Eine verlässliche Authentisierung des Benutzers ist eine Grundvoraussetzung für ein Lernsystem.

Benutzerverwaltung

So bildet die Benutzerauthentisierung auch die Grundlage für die Benutzerverwaltung des Lernsystems. Wird das Training über das Internet angeboten, ist die Frage zu klären, wie sich die Benutzerverwaltung generell organisieren läßt. Muß jeder Schüler auch im lokalen Netz des Trainingsproviders als regulärer Benutzer registriert sein? Wenn ja, dann würde die Benutzerauthentisierung des lokalen Betriebssystems zum Tragen kommen, und über die Vergabe von Zugriffsrechten im Dateisystem ließe sich auch der Zugriff auf das Lernmaterial regulieren. Gehören der Trainingsprovider und seine Schüler zu derselben Organisation, dann ist dieses sicherlich die eleganteste Vorgehensweise, da so auf den zusätzlichen Aufwand für die Realisierung einer Benutzerverwaltung verzichtet werden kann. Auch kann der Schüler so direkt unter seiner normalen Benutzerkennung lernen und muß sich nicht zuerst unter einer speziellen Lernbenutzerkennung erneut oder zusätzlich gegenüber dem Lernsystem authentisieren.

Anders stellt sich die Situation dar, wenn die Schüler und der Trainingsprovider nicht derselben Organisation angehören, was der Regelfall ist, wenn das Training über das Internet angeboten wird. Kein vernünftiger Administrator wird, wenn es nicht zwingend notwendig ist, fremden Personen eine Benutzerkennung im lokalen Netzwerk einrichten. Das ist auch nicht notwendig, da es genügt, wenn ein Schüler auf das Lernmaterial und sonstige Lernservices zugreifen kann und sich dies komplett über einen WWW-Server realisieren läßt. Während die ersten WWW-Server nicht zwischen unterschiedlichen Benutzern unterscheiden konnten, verfügen fast alle aktuellen WWW-Server über eine eigene Benutzerverwaltung, die unabhängig von der Benutzerverwaltung des Betriebssystems ist. Alle Aktionen, die der WWW-Server – stellvertretend für einen Schüler – ausführt, erfolgen unter einer speziellen Benutzerkennung für Netzwerkfremde, die strikten Restriktionen unterliegt. Bei korrekter Konfiguration hat ein Schüler so kaum noch Möglichkeiten zu Manipulationen in diesem Bereich.

Ein Schüler wird sich unter seiner lokalen Benutzerkennung gegenüber seinem Arbeitsplatzrechner authentisieren, und wenn er sich zum Lernen mit einem Trainingsprovider verbindet, dann muß er sich mit seiner, vom Trainingsprovider vergebenen, Lernbenutzerkennung zusätzlich gegenüber diesem authentisieren. Das erfordert nur einen minimalen Aufwand. Lernt ein Schüler bei unterschiedlichen Trainingsproviders, dann wird jeder Trainingsprovider ihm eine eigene Lernbenutzerkennung zuweisen.

Das Maß an Sicherheit hängt allerdings auch davon ab, wie gut der Trainingsprovider die Daten der Benutzerverwaltung pflegt. Dies ist ein kontinuierlicher Prozeß, der mit großem Aufwand verbunden ist, wenn es gilt, eine große Anzahl von Schülern zu verwalten und deren Zugriffsrechte möglichst akkurat zu spezifizieren.

Authentizitätsnachweis für Benutzeraktionen

Der wichtigste Aspekt im Zusammenhang mit Benutzerauthentisierung ist jedoch die Möglichkeit, Benutzeraktionen eindeutig einem Schüler zuordnen zu können. Dies ist eine Grundvoraussetzung für eine Reihe von Funktionen eines Lernsystems:

- ▶ In der Regel ist der Zugang zu den Lernressourcen nur einem eingeschränkten Personenkreis erlaubt. Durch den Vorgang der Authentisierung weist ein Schüler nach, daß er zu diesem Personenkreis gehört. In vielen Fällen dürfen auch rechtmäßige Benutzer nur auf eine bestimmte Teilmenge des vorhandenen Lernmaterials zugreifen. In diesem Fall lassen sich auf Basis der Benutzeridentifikation individuelle Zugriffsrechte auf ausgewählte Ressourcen vergeben.
- ▶ Verfolgt ein Trainingsprovider kommerzielle Interessen, dann wird er in der einen oder anderen Form jedem Benutzer das in Anspruch genommene Training in Rechnung stellen. Es gibt zwar die unterschiedlichsten Abrechnungsverfahren (materialbasiert oder zeitbasiert), aber in fast allen spielt die Benutzeridentifikation eine zentrale Rolle in der Frage, wer wieviel bezahlen muß. Auch wenn ein Trainingsprovider keine kommerziellen Interessen verfolgt, so verursacht der Betrieb eines Lernsystems auch hier Kosten, die in irgendeiner Form verrechnet werden müssen. Hier ist die Information, wer diese Dienste in welchem Umfang in Anspruch genommen hat, wichtig für die interne Verwaltung.
- ▶ Um das Training individuell an den einzelnen Benutzer anpassen zu können (sein Vorwissen, seinen Lernerfolg und auch seine Präferenzen), bedarf es individueller Benutzerprofile. Ein solches Benutzerprofil muß immer der aktuellen Entwicklung angepaßt werden, d.h. es muß vermerkt werden, welche Kursmaterialien dem Schüler bereits präsentiert wurden und auch mit welchem Erfolg er dieses absolviert hat. Dazu müssen sich die Aktionen aber auch einem Benutzer zuordnen lassen.
- ▶ Die Vergabe von Zertifikaten erfolgt in den meisten Fällen personenbezogen. Findet das Training jedoch über das WWW statt, dann kann das Lernsystem zwar die Nutzung durch die Schüler protokollieren. Aber typischerweise hat der Trainingsprovider keine Kontrolle über die Lernumgebung der Schüler und daher lassen sich die protokollierten Aktionen nur einem Benutzerkonto und nicht einer realen Person zuordnen. Welche Person sich hinter einem bestimmten Benutzerkonto verbirgt, läßt sich nicht zweifels-

frei feststellen. Insbesondere im Fall der WWW-basierten Aus- und Weiterbildung kann man nicht verhindern, daß eine andere Person unter der Benutzererkennung des Schülers für diesen den Kurs (bzw. die Tests) absolviert.

Die besondere Problematik im Anwendungsfeld Lernen ist, daß es für einige der Funktionen (z.B. Zertifizierung) nicht ausreicht, die Aktionen nur einem bestimmten Benutzerkonto zuordnen zu können, sondern man wünscht sich eine Zuordnung zu einer bestimmten Person. In normalen rechnergestützten Anwendungen geht man davon aus, daß man jedem rechtmäßigen Benutzer vorbehaltlos trauen kann. Daher zielen die meisten Sicherheitsmechanismen auch darauf ab sicherzustellen, daß ein unberechtigter Benutzer nicht auf die Daten eines berechtigten Benutzers zugreifen oder sich als berechtigter Benutzer ausgeben kann. Es kann aber nicht verhindert werden, daß ein Schüler einer anderen Person das Arbeiten unter seiner Benutzererkennung ermöglicht. Ein weiteres Problem in diesem Zusammenhang ist, daß ein Trainingsprovider in der Regel – insbesondere in WWW-basierten Szenarien – keinerlei administrative Kontrolle über die Lernumgebung des Schülers hat. Damit ist er bei der Realisierung von Maßnahmen zur Benutzerauthentisierung vielfach auf die Mitwirkung der Schüler angewiesen.

In Abschnitt „7.1.2 Authentisierung des Benutzers und seiner Aktionen“ wird insbesondere darauf eingegangen, wie bzw. inwieweit sich diese Anforderungen an die Benutzerauthentisierung mit existierenden Mechanismen realisieren lassen.

6.2.3 Unbefugter Zugriff

Unbefugten Zugriff assoziiert man vorschnell oft nur mit dem Zugriff auf Lernmaterial, auf das der Benutzer keine Zugriffsrechte hat. Die meisten Betriebssysteme erlauben die Vergabe von *Zugriffsrechten* auf Dateien und sorgen für deren Einhaltung. Analog zu den *Benutzerkennungen* und den *Zugriffsrechten* auf Dateisystemebene bieten die meisten WWW-Server einen solchen Mechanismus auch für den Zugriff über HTTP an. Die Benutzerverwaltung des WWW-Servers ist dabei völlig unabhängig von der Benutzerverwaltung des Betriebssystems für den WWW-Server. Damit können auch für externe Benutzer WWW-Benutzerkennungen eingerichtet werden und spezifische Zugriffsrechte auf die vorhandenen WWW-Ressourcen vergeben werden, ohne daß für die externen Benutzer eigene Benutzerkennungen auf dem Rechner für den WWW-Server eingerichtet werden müssen. Damit können externe Benutzer auf die über das WWW zur Verfügung gestellten Ressourcen zugreifen, haben aber keinen Zugang zu dem System, auf dem der WWW-Server betrieben wird. Eigentümer von Lernmaterial (Autoren bzw. Trainingsprovider) können über diese Mechanismen den Zugriff auf ihr Lernmaterial jedoch nur solange regulieren, wie sie es sind, die die Zugriffsrechte vergeben. Sobald Lernmaterial jedoch an den Schüler ausgeliefert ist, dann unterliegt es nicht mehr der Kontrolle des Eigentümers, sondern es unterliegt ab jetzt der Kontrolle des Schülers¹. Der Eigentümer hat keine Möglichkeit, diesem die Kontrolle wieder zu entziehen, noch hat er eine Möglichkeit, nachzuvollziehen, ob und wie der Schüler auf das Lernmaterial zugreift. Denn für die Praxis genauso bedeutend wie die Überprüfung, ob ein Schüler auf Lernmaterial zugreifen darf, ist die Überprüfung, ob ein Benutzer auch nur in dem vereinbarten Umfang auf die Lernressourcen zugreift.

In bezug auf das in dieser Arbeit adressierte B2B-Lernszenario kann es beispielsweise zu einer überzogenen Nutzung des Lernsystems durch die Schüler kommen, die von der vertraglich vereinbarten Nutzung abweicht. Will ein Trainingsprovider ein möglichst breites Spektrum an Themen abdecken, dann wird er es sich in der Regel nicht leisten können, all sein Lernmaterial selbst zu erstellen². Es bietet sich daher an, daß verschiedene Trainingsprovider ihr Lernmaterial untereinander austauschen. In diesem Bereich gibt es auch bereits Initiativen, wie etwa im Rahmen der EU-Projekte IDEALS oder INEIT-Mucon [68]. Durch die Verwendung von externem Lernmaterial kann ein Trainingsprovider nicht nur seine Kosten für die Entwicklung von Lernmaterial reduzieren, sondern es eröffnet ihm auch den Zugriff auf Lernmaterial für Themen, für die er keine Expertise besitzt. Die Überlassung von Lernmaterial wird in der Regel an eine Nutzungsvereinbarung zwischen beiden Trainings Providern geknüpft sein, die regelt, wie das Lernmaterial eingesetzt und weitergegeben werden darf und welche Vergütung dem Eigentümer zusteht.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, man benötigt Mechanismen, die den Zugriff durch Unbefugte verhindern, aber noch wichtiger sind Mittel und Wege, mit denen sich die Einhaltung von Nutzungsbedingungen überwachen und erzwingen lassen.

1. Genaugenommen wird nur eine Kopie des Lernmaterials ausgeliefert, so daß der Eigentümer noch immer die Kontrolle über das Original behält, während dem Schüler nur die Kontrolle über eine Kopie eingeräumt wird. Aus der Sicht des Schülers sind die Möglichkeiten, die ihm eingeräumt werden, jedoch identisch zu den Möglichkeiten, wenn er der Eigentümer des Lernmaterials wäre.

2. Das sollte nicht weiter verwundern, denn auch eine Universität wird nicht alle Lehrbücher, die an ihr verwendet werden, selbst erstellen.

6.2.4 Unbefugte Weitergabe von Lernmaterial

Während es bei den traditionellen Medien recht aufwendig ist, Kopien zu erstellen, die qualitativ dem Original ebenbürtig sind, gilt für digitales Material:

- ▶ Das Erstellen von Kopien erfordert nur minimalem Aufwand.
- ▶ Das Erstellen von Kopien erfordert weder spezielle Werkzeuge, Ressourcen oder Kenntnisse.
- ▶ Jede Kopie ist identisch mit dem Original.
- ▶ Es lassen sich beliebig viele Kopien erstellen.
- ▶ Kopien lassen sich über Speichermedien und Netzwerk leicht weitergegeben.

Der Übergang von der analogen zur digitalen Repräsentation von Informationen, auf den sich viele der revolutionären Fortschritte in der Informations- und Kommunikationstechnik zurückführen lassen, bringt auch ein um Größenordnungen höheres Mißbrauchspotential mit sich. Viele Lösungen zum Schutz des Urheberrechts und zur Einhaltung von Nutzungsvereinbarungen für analoges Material lassen sich nicht auf digitales Material übertragen. Auch werfen die neuen technischen Möglichkeiten neue Problemfelder auf, die erst heute in ihrem vollen Ausmaß erkannt werden und für die noch Lösungen entwickelt werden müssen.

Daß dies ein ernstzunehmendes Problem ist, zeigt sich am deutlichsten an den Diskussionen um MP3 und den Auseinandersetzungen um Napster und seine Nachfolger wie etwa Gnutella, Audiogalaxy, Aimster, Musiccity (Morpheus), Grokster und KaZaA. Die Tatsache, daß Musikstücke über das WWW von jedermann in unbeschränkter Menge und bester Qualität weitergegeben werden können, wird von der Musikindustrie als ernste Bedrohung eingestuft. Das zeigt sich auch daran, wie die Musikindustrie versucht, diese Bedrohung mit technischen und juristischen Maßnahmen in den Griff zu bekommen.

Auch Lernmaterial liegt in digitaler Form vor und stellt die Grundlage dar, auf dessen Basis ein kommerzieller Trainingsprovider sein Einkommen erwirtschaftet. Jede unbefugte Weitergabe von Lernmaterial bedeutet daher für ihn finanzielle Einbußen. Für ihn stellen sich also folgende Fragen:

- ▶ Mit welchen Mitteln läßt sich die unberechtigte Weitergabe von Lernmaterial unterbinden oder, falls dies nicht möglich ist, zumindestens verfolgen?
- ▶ Welche technischen Mittel können eingesetzt werden, um bei Verletzung von Nutzungslizenzen oder bei Streitigkeiten um die ursprüngliche Urheberschaft diese festzustellen und gegebenenfalls Täter zweifelsfrei zu identifizieren.

6.2.5 Manipulation der Lernerfolgskontrolle

Bevor eine Ausbildungseinrichtung Wissen bzw. Fähigkeiten zertifizieren kann, muß sie sich selbst ein Bild darüber machen, ob und in welchem Ausmaß der Schüler sich dieses Wissen bzw. diese Fähigkeiten angeeignet hat. Wegen der in Abschnitt „6.1.2 Integrität der Zertifizierung“ beschriebenen Problematik muß er aber Vorsorge dagegen treffen, daß Schüler, durch die Manipulation der Lernerfolgskontrolle (Prüfung), nicht vorhandenes Wissen vortäuschen können und sich so unberechtigterweise ein Zertifikat verschaffen.

Bei einem Lernsystem ist die Vermeidung von Manipulationen insbesondere deshalb ein Problem, weil Schüler die autorisierten Nutzer des Systems sind und die meisten Sicherheitsmechanismen lediglich darauf ausgerichtet sind, zu verhindern, daß nichtautorisierten Personen Zugang zu dem System gewährt wird, und deshalb in diesem Fall nicht greifen. Auch in normalen Anwendungsszenarios geht die überwiegende Zahl¹ der Mißbräuche auf das Konto von Insidern. Weil diese schwarzen Schafe aber nur einen sehr kleinen Teil der gesamten Benutzerschaft ausmachen, kann man dennoch von der Arbeitshypothese ausgehen, daß man den rechtmäßigen Benutzern trauen kann. Nicht so im Anwendungsszenario Lernen; hier muß man davon ausgehen, daß jeder Schüler potentiell bereit ist zu manipulieren, und daher präventive Gegenmaßnahmen ergreifen. Dies gilt insbesondere, wenn das Lernen mit einem für den Schüler bedeutsamen Zertifikat verbunden ist. Aber auch, wenn das Lernen mit keiner Zertifizierung verbunden ist und Tests nur dazu verwendet werden, dem Schüler eine Selbsteinschätzung seines Wissensstands bzw. Lernerfolgs zu ermöglichen, ist es vorteilhaft, zumindestens ein Mindestmaß an Schutz vor Manipulation zu implementieren, um zu verhindern, daß der Schüler sich selbst betrügt.

6.3 Bewertung der Bedrohungen und potentiellen Schäden

Das Anwendungsfeld Computer-unterstütztes Lernen umfaßt viele unterschiedliche Anwendungsszenarien, jedes mit unterschiedlichen Zielsetzungen, Voraussetzungen und Möglichkeiten. Die Frage nach dem Ausmaß der Bedrohung und welche Gegenmaßnahmen realisierbar und welche angemessen sind, kann nur für

1. Es gibt Schätzungen, die von bis zu 80% sprechen [113].

jedes Anwendungsszenario individuell beantwortet werden. Daher werden für verschiedene Anwendungsszenarien wesentliche Einflußfaktoren und ihre Auswirkungen auf die Sicherheit gegenübergestellt. Abschließend werden die spezifischen Anforderungen und Möglichkeiten für ein B2B-Lernszenario beschrieben.

6.3.1 Anwendungsszenarien und Sicherheitsbedarf

Intranet- versus Internet-basiertes Lernen

Soll das WWW-basierte Training nur innerhalb eines Intranets angeboten werden und nicht für jedermann über das Internet erreichbar sein, dann bedeutet dies eine Reihe von Vorteilen für die Realisierung der Sicherheit. Das entscheidende Kriterium für Intranet-basiertes Lernen ist nicht, wie man annehmen könnte, die Frage, ob der Zugriff netzwerktechnisch gesehen über ein LAN oder das Internet erfolgt, sondern das Vorhandensein einer übergreifenden, einheitlichen Organisationsstruktur mit einheitlicher Administration. Der Begriff Netzwerk bezieht sich in diesem Zusammenhang somit eher auf die organisatorische Struktur als auf die verwendeten technischen Kommunikationsnetze. In diesem Sinne gilt hier auch als Intranet, wenn verschiedene LANs über Internetverbindungen zu einem VPN zusammengeschaltet sind, und auch, wenn mehrere Rechner, die durch kein Netzwerk verbunden sind, gemeinsam administriert werden. Dagegen gilt ein LAN, in dem jeder Benutzer seinen Rechner selbst administrieren kann oder darf, nicht als ein Intranet sondern fällt unter die Kategorie Internet. Typische Beispiele für ein Intranet wären z.B. die internen Netzwerke von Firmen oder Universitäten¹. Durch die gemeinsame Administration kann sichergestellt werden, daß alle Lernarbeitsplätze einem homogenen Standard, was die Ausstattung mit Hard- und Software angeht, genügen und man nicht wie im Fall des Internets auf heterogene Hard- und Softwareausstattungen Rücksicht nehmen muß. Das führt in vielen Fällen zu einer Beschränkung auf den kleinsten gemeinsamen Nenner der Möglichkeiten. Die Tatsache, daß es einen konkreten Standard gibt, von dem man ausgehen kann, ist von großem Vorteil für den gesamten Betrieb des Systems und nicht nur für die Sicherheit. Durch die Wahl des Standards läßt sich auch beeinflussen, welches Maß an Sicherheit erreicht werden kann. Durch die übergreifende Administration kann auch für die Einhaltung dieses Standards gesorgt werden. Mit anderen Worten, in einem Intranet-basierten System hat der Trainingsprovider die administrative Kontrolle über alle zum Lernen verwendeten Rechner. Auf die Kontrolle der Schüler während des Lernens wird man jedoch in der Regel, wegen des damit verbundenen Aufwands, verzichten. Doch schon allein die Kontrolle über die Installation und Konfiguration der Rechner stellt einen signifikanten Gewinn für die Sicherheit dar.

Da es sich bei einem Intranet in aller Regel um ein Local Area Network handelt, hat man beim Zugriff auf Lernmaterial in einem Intranet in der Regel auch keine Probleme mit Bandbreitenbeschränkungen oder Übertragungskosten. Wichtiger für die Sicherheit ist jedoch, daß man ein Intranet durch einen Firewall und/oder ein VPN vor Zugriffen von außerhalb abschotten kann oder es gar als isoliertes Netzwerk betrieben werden kann. Wenn das Training über das Internet angeboten werden soll, dann muß auch eine öffentliche Zugangsmöglichkeit angeboten werden. Diese stellt aber auch einen potentiellen Angriffspunkt dar.

Es gibt auch Unterschiede, was die Ahndung von Fehlverhalten angeht. In einem Internetszenario kann der Trainingsprovider oft nicht mehr tun, als einen auffällig gewordenen Schüler vom weiteren Lernen auszuschließen. Wenn aber sowohl der Schüler als auch der Trainingsprovider derselben Organisation (Intranet) angehören, dann hat der Trainingsprovider auch bessere Möglichkeiten, Fehlverhalten zu ahnden, z.B. Abmahnung oder sogar Ausschluß des Schülers (Kündigung). Für Schüler in einem Intranetszenario wird der Abschreckungsfaktor also höher sein als für solche in einem Internetszenario.

Zusammengefaßt, im Intranet läßt sich ein höheres Maß an Sicherheit verwirklichen, und es bietet auch technische Vorteile.

Geschlossene versus offene Benutzergruppe

Ein anderer Aspekt ist die Zielgruppe. Soll das Angebot nur für eine bestimmte Gruppe von Nutzern verfügbar sein, dann kommt einigen Aspekten eine stärkere Bedeutung zu, als wenn das Training grundsätzlich allen Leuten offen steht. Eine geschlossene Benutzergruppe ist nicht gleichbedeutend mit einem Intranet. Alle registrierten Studenten einer Universität bilden sicherlich eine geschlossene Benutzergruppe, aber wenn man zulassen will, daß die Studenten auch von ihren Rechnern zuhause auf das Training zugreifen können, dann kann man das nicht mehr mit einem Intranet realisieren. Bei einer geschlossenen Benutzergruppe, die nicht einem Intranet entspricht, wird es zwar auch Vorgaben hinsichtlich der benötigten Hard- und Softwareausstattung geben, aber diese werden im Gegensatz zu Intranets eher versuchen festzuschreiben, was man erwartet vorzufinden, als ausgehend von den Bedürfnissen festzulegen was gewünscht wird. Ein gutes Beispiel dafür

1. Zu dem Intranet gehören jedoch nicht die privaten Rechner, mit denen ein Schüler zu Hause lernt, auch wenn sie über Netzwerk an das interne Netz angebunden sind, es sei denn, sie unterliegen ausschließlich der Administration, die für das Intranet zuständig ist.

ist der verwendete WWW-Browser: In einem Intranet kann der Administrator vorgeben, daß alle Schüler den Browser X in Version Y verwenden und auch das Betriebssystem vorgeben. In einer offenen Benutzergruppe wird man sich eher fragen, welche Kombinationen von Betriebssystem und Browser die Benutzer denn installiert haben, und wird die verbreitesten Vertreter dann zur Vorgabe für alle erheben. Der wichtigste Unterschied ist jedoch, daß man es mit einer heterogenen Administration zu tun hat und daher die Sicherheit nicht durch administrative Maßnahmen gewährleisten kann.

Sowohl bei einer geschlossenen als auch bei einer offenen Benutzergruppe wird der Zugriff, technisch gesehen, über das Internet erfolgen. Während allerdings bei einer offenen Benutzergruppe in der Regel kein besonderes Schutzbedürfnis für die Inhalte besteht, ist das Gegenteil der Fall, wenn die Inhalte nur einem geschlossenen Kreis von Benutzern zugänglich sein sollen. So dient die Benutzerauthentisierung bei einer öffentlichen Benutzergruppe in wesentlichen nur der Erstellung eines Benutzerprofils. Bei einer geschlossenen Benutzergruppe ist sie darüberhinaus noch ein wichtiger Mechanismus zur Realisierung der Zugangskontrolle und der Zugriffsrechte. Auf Seiten des Lernsystems kann dies durch eine verlässliche Benutzerauthentisierung, konsequente Vergabe und Überprüfung von Zugriffsrechten sowie den Einsatz von Firewalls und VPNs sichergestellt werden. Problematisch ist aber auch die Seite der Schüler, denn es muß auch verhindert werden, daß diese Material, auf das sie rechtmäßig zugreifen dürfen, an unberechtigte Dritte weitergeben. In Abschnitt „7.2 Umsetzungskonzept einer sicheren Lernumgebung“ auf Seite 122 wird ein Lösungsansatz für diese Problematik vorgestellt.

Abschlußorientiertes versus interessenorientiertes Lernen

Vergibt ein Trainingsprovider keine Zertifikate oder weiß er, daß es seinen Schülern vorrangig um den Erwerb von neuem Wissen oder Fertigkeiten geht, dann kann er davon ausgehen, daß die Schüler auch nicht versuchen werden, durch Manipulation Lernerfolg vorzutäuschen. Es besteht in diesem Fall also nur geringer Bedarf für Schutz vor Manipulation von Seiten der Schüler. Generell kann gesagt werden, daß das Schutzbedürfnis je größer ist desto mehr Bedeutung das zu erwerbende Zertifikat für die Karriere des Schülers hat. Ein Kurs, der zu einem Universitätsabschluß führt, wird daher ein ungemein höheres Gefährdungspotential haben als ein Kurs, bei dem jeder Schüler eine Teilnahmebestätigung ohne Bewertung erhält.

Dennoch sollten auch im Fall, daß ein Kurs nicht zertifiziert wird und die im Kurs enthaltenen Tests nur der Selbsteinschätzung des Schülers dienen, Maßnahmen getroffen werden, um die Tests vor Manipulationen durch den Schüler zu schützen. Damit kann die Verlässlichkeit der Testbewertungen gewährleistet und der Schüler vor falscher Selbsteinschätzung bewahrt werden.

Individuelles versus organisiertes Lernen

Organisiertes Lernen findet man vor allem dann, wenn das Lernen auf das Erlangen eines Zertifikates ausgerichtet ist. Typisch ist, daß gewisse Restriktionen bzw. Vorgaben für die Durchführung des Lernens existieren, seien es Vorgaben hinsichtlich des Umfangs der zu vermittelnden Inhalte oder des Zeitrahmens für das Training (Kursbeginn und Kursende). Eine häufig anzutreffende Form des organisierten Lernens ist, einer Gruppe von Schülern identisches Lernmaterial zu präsentieren, wobei jeder Schüler es für sich selbst bearbeitet.

Beim individuellen Lernen stehen die Bedürfnisse und Wünsche des einzelnen Schülers im Vordergrund. Entweder kann er sich einen individuellen Weg zu einem vorgegebenen Lernziel suchen, oder im Extremfall kann auch auf die Vorgabe eines Lernziels ganz verzichtet werden, oder dieses kann sich im Verlauf eines Kurses verändern. Hier hat der Schüler die Kontrolle sowohl über den Verlauf des Kurses (Beginn, Ende und Umfang) als auch über die zu behandelnden Inhalte.

Organisiertes Lernen wird dann zum Einsatz kommen, wenn eine Gruppe auf einen homogenen, vorgegebenen Wissensstand gebracht werden soll. Mit individuellem Lernen kann besser auf die speziellen Bedürfnisse und Wünsche eines Schülers eingegangen werden, es stellt aber auch höhere Anforderungen an die Eigenverantwortung und die Selbstmotivation des Schülers. Wegen der inherenten Dynamik ist der Kursverlauf jedoch weit weniger vorhersagbar bzw. planbar als bei organisiertem Lernen. Diese Dynamik ist in erster Linie problematisch für das Kurslaufzeitsystem, aber sie hat auch Auswirkungen auf die Sicherheit. Auf Grund der Vorhersagbarkeit beim organisierten Lernen weiß der Administrator bereits vor Beginn des Kurses welche Schüler wann Zugriff auf welches Lernmaterial benötigen und mit diesem Wissen kann er die Sicherheitseinstellungen optimieren. So muß er nur das Lernmaterial verfügbar halten, das die Schüler auch wirklich benutzen werden. Beim individuellen Lernen läßt sich nicht vorhersagen, wann ein Schüler das Lernmaterial benötigen und vor allem nicht, welches Lernmaterial er verwenden wird. Es muß also all das Material, das er unter irgendwelchen Umständen verwenden könnte, bereitgehalten werden.

Es kann also festgehalten werden, daß, obwohl es keine relevanten Unterschiede in den Sicherheitsbedürfnissen zwischen individuellem und organisiertem Lernen gibt, die Administration der Sicherheit beim individuellen Lernen komplexer ist als beim organisierten Lernen. Die Vergabe der Zugriffsrechte muß auf

individueller Basis erfolgen und man kann diesen Prozeß auch nicht durch die Vergabe von Gruppenrechten vereinfachen. Auch die Festlegung von Benutzerrechten ist auf Grund der Nichtvorhersehbarkeit des Kursverlaufs komplexer. Der Administrator kann entweder die Zugriffsrechte sehr freizügig vergeben und damit potentielle Sicherheitslücken in Kauf nehmen, oder er muß die Zugriffsrechte dynamisch anpassen, was arbeitsaufwendig ist, weil es ein kontinuierlicher Prozeß ist.

Will ein Lehrer/Tutor beim individuellen Lernen die Aktionen eines Schülers nachvollziehen, dann benötigt er spezielle Analysewerkzeuge, die diese Information aus dem Benutzerprofil extrahieren, d.h. die Zuverlässigkeit der Benutzerprofilaten und somit die der Benutzerauthentifikation ist von größerer Bedeutung als beim organisierten Lernen, bei dem nur die Werte für bekannte Benutzerprofileinträge evaluiert werden müssen.

Da beim individuellen Lernen die Kontrolle über den Kursverlauf weitestgehend beim Schüler liegt und daher der Selbstverantwortung des Schülers entscheidende Bedeutung zukommt, wird man individuelles Lernen auch überwiegend in Situationen finden, in denen es dem Schüler in erster Linie um Wissenserwerb geht und nicht um ein Zertifikat. Das bedeutet aber auch, daß die Motivation für einen Schüler zu manipulieren geringer einzuschätzen ist.

Kommerzielle Interessen versus freie Wissensvermittlung

Verfolgt ein Trainingsprovider kommerzielle Interessen, dann ist er auf verlässliche Benutzerauthentisierung angewiesen, um den Benutzern seine Dienste in Rechnung zu stellen, sowie für akkurate Benutzerprofile und somit für die Qualität seiner Zertifikate. Jeder unberechtigte Zugriff oder jede unberechtigte Weitergabe von Lernmaterial bedeutet finanzielle Nachteile für ihn.

Bietet dagegen ein Trainingsprovider die Kurse zur freien Verfügung über das Internet an, z.B. als Public Relation Maßnahme oder als Bestandteil seines Technischen Supports, dann wird ihm eher an einer möglichst breiten Verwendung seines Lernmaterials gelegen sein und er wird nicht versuchen die Verwendung des Lernmaterial auf die Kunden zu beschränken, die dafür auch bezahlt haben. Daß mit den Informationen aus dem Benutzerprofil das Angebot besser an die Bedürfnisse und Wünsche des Schülers angepaßt werden kann, interessiert ihn nur insoweit, daß er damit einerseits die Attraktivität seiner Kurse steigern kann und Namen und Informationen über potentielle oder aktuelle Kunden erhält, die wichtige Fingerzeige für die weitere Entwicklung und Marketingaktionen bieten. In diesem Fall sind es auch weniger die Inhalte, die es vor Mißbrauch zu schützen gilt, als die persönlichen Daten der Benutzer.

WWW-basierte Lernsysteme, die von Universitäten betrieben werden, liegen zwischen diesen beiden Alternativen. Eine Universität wird in der Regel keine kommerziellen Ziele mit ihrem Lernmaterial verfolgen und daher auch keine Abrechnung durchführen, aber sie hat andererseits auch kein Interesse daran, ihr Lernmaterial der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Eine Universität wird in erster Linie darauf abzielen, ihre Studenten zu versorgen, denn je größer der potentielle Kreis der Nutzer ist, desto mehr Ressourcen, sowohl technischer als menschlicher Natur, sind notwendig für die Bereitstellung und Aufrechterhaltung des Angebots.

6.3.2 Bedrohungspotential bei B2B-Lernszenarien mit vertraulichen Inhalten

In einem B2B-Lernszenario mit vertraulichen Inhalten stellt ein Trainingsprovider gegen Entgelt seinen Schülern Lernmaterial und damit verbundene Dienstleistungen (z.B. Betreuung und Zertifizierung) zur Verfügung. Die Inhalte, die vermittelt werden, enthalten vertrauliche Information. Die Schüler bilden eine geschlossene Benutzergruppe. Weiterhin soll davon ausgegangen werden, daß die Schüler und der Trainingsprovider unterschiedlichen Institutionen angehören. Die Institutionen, denen die Schüler angehören, verfügen über einen hohen Organisationsgrad, und die Administration der Lernarbeitsplätze liegt in der Hand von speziellen Administratoren. Weiterhin wird davon ausgegangen, daß es im Interesse der Institutionen liegt, daß die Wissensvermittlung korrekt abläuft. Der Trainingsprovider kann daher darauf vertrauen, daß die Administratoren die Einhaltung von Standards, was die verwendete Soft- und Hardware betrifft, sicherstellen. Auch kann er davon ausgehen, daß der Administrator erforderliche Hard- und Software korrekt installiert.

Für ein derartiges Anwendungsszenario hat die Vertraulichkeit der Inhalte die höchste Priorität. Eng damit verknüpft sind die Aspekte unbefugte Weitergabe von Lernmaterial und unberechtigter Zugriff auf Lernmaterial. Um die Vertraulichkeit der Inhalte gewährleisten zu können, sollte gelten:

- Außenstehende, aber auch Insider, sollen sich durch illegale Zugriffe, wie z.B. Einhacken und Datendiebstahl oder den Diebstahl ganzer Rechner oder Speichermedien, keinen Zugang auf Inhalte verschaffen können, die nicht für sie freigegeben sind. Die sicherste Art und Weise, dies zu erreichen, ist sicherlich, wenn die Benutzung der Inhalte nur in einer kontrollierbaren¹ Umgebung möglich ist.

- Rechtmäßigen Nutzern soll es nicht möglich sein, Inhalte (Dateien oder Speichermedien) an unberechtigte Dritte weiterzugeben.

Die Überprüfung der Berechtigungen für den Zugriff und die Weitergabe setzt aber auch eine zuverlässige Benutzerauthentisierung voraus. Daraus ergeben sich aber auch Mindestanforderungen an die verwendete Hard- und Software, insbesondere an das Betriebssystem.

Geringere Priorität haben die folgenden Aspekte: Wie in allen Anwendungsszenarios ist für den Schüler die Vertraulichkeit des Lernprozesses wichtig. Für den Trainingsprovider ist es ein wichtiges Ziel, die Einhaltung der Nutzungsbedingungen überwachen zu können und Zuwiderhandlungen zweifelsfrei belegen zu können.

Welche Bedeutung die Verhinderung von Manipulationen der Lernkontrolle hat, hängt davon ab, ob das vorrangige Ziel der Schüler die Aneignung des Wissens bzw. der Fähigkeiten ist, die sie für die Durchführung einer Aufgabe benötigen, oder das Erlangen eines Zertifikats. In dem Maß, wie das Lernen wichtig für den persönliche Karriereweg wird, steigt auch die Priorität dieses Punktes.

1. Kontrollierbar in dem Sinn, daß der Autor oder ein vertrauenswürdiger Administrator festlegen kann, wer auf die Inhalte zugreifen darf und wer nicht.

In diesem Kapitel werden zunächst die grundlegenden Verfahren und Techniken für die in den vorherigen Kapiteln identifizierten Problemfelder vorgestellt. Dann wird aufgezeigt, wie sich diese einzelnen Ansätze zu konkreten Lösungen kombinieren lassen. Insbesondere wird beschrieben, wie sich eine sichere Lernumgebung realisieren läßt, in der die Vertraulichkeit der Inhalte und das Urheberrecht durch technische Maßnahmen sichergestellt wird.

7.1 Lösungsansätze

7.1.1 Vertraulichkeit

In Abschnitt „6.2.1 Vertraulichkeit“ wurden die beiden Aspekte Vertraulichkeit des Lernprozesses und Vertraulichkeit der Inhalte identifiziert. Die Lösungsansätze für den zweiten Aspekt sind aufs Engste mit denen für die Zugriffskontrolle und denen zum Schutz des Urheberrechts verknüpft. Daher wird an dieser Stelle nicht auf den zweiten Aspekt eingegangen, sondern erst in Zusammenhang mit den beiden anderen Fragestellungen.

Bei der Realisierung der Vertraulichkeit des Lernprozesses stehen die vertrauliche Kommunikation zwischen Schüler und Trainingsprovider und der sichere Austausch von Lernmaterial und Steuerungsinformation zwischen dem Schüler und Lernsystem im Vordergrund des Interesses. Dies läßt sich mit existierenden Lösungen realisieren:

- ▶ Ein Weg zur Vertraulichkeit bei der Datenhaltung und dem Datenaustausch ist der Einsatz von kryptographischen Verfahren. Mit ihnen lassen sich die Daten elektronisch signieren oder verschlüsseln. Mit *elektronischen Signaturen* (digitalen Unterschriften) läßt sich erkennen, ob Lernmaterial während der Übertragung verändert wurde. Somit läßt sich die Authentizität von Lernmaterial prüfen. Sie bieten aber keinerlei Schutz vor unbefugtem Mitlesen. Soll die Vertraulichkeit des Datentransfers sichergestellt werden, dann müssen die Daten *verschlüsselt* werden. Verfahren hierfür wurden bereits in Abschnitt „5.2.2 Verschlüsselung“ vorgestellt. Anders als etwa bei Zugriffsrechten ist ein Benutzer bei der Verschlüsselung nicht auf die Unterstützung durch das Betriebssystem angewiesen. Durch den Einsatz von Verschlüsselung lassen sich Daten daher auch betriebssystem-übergreifend und auch auf Betriebssystemen sichern, die über keinerlei Schutzmechanismen verfügen (z.B. DOS). Es gibt auch Betriebssysteme (z.B. Windows 2000 oder MacOS ab Version 9), die Verschlüsselung auf Systemebene unterstützen. Ein Problem beim praktischen Einsatz sowohl von elektronischer Signatur als auch von Verschlüsselung ist der Austausch der Schlüssel, die zur Verifikation der digitalen Signatur bzw. dem Entschlüsseln der Daten benötigt werden. Die dafür notwendige Infrastruktur wird als Public Key Infrastructure (PKI) bezeichnet. Verschlüsselungsverfahren wie PGP[132] und S/MIME[133] definieren daher nicht nur, welche Verfahren zum Signieren bzw. zum Verschlüsseln verwendet werden, sondern sie definieren auch Verfahren zum Austausch der Schlüssel. PGP setzt dabei auf dezentrale Strukturen (Network of Trust) während bei S/MIME hierarchische Strukturen zum Einsatz kommen.
- ▶ *Firewalls* sichern den Übergang von lokalen Netzwerken hin zu dem Internet. Ihre Aufgabe ist es, auf Netzwerkebene das lokale Netzwerk vor Angriffen und Ausspähungen von außerhalb zu schützen. Dazu überwachen sie die ein- und ausgehenden Datenströme auf der Ebene der Netzwerkprotokolle und filtern solche aus, die eine Bedrohung der Sicherheit des lokalen Netzwerks darstellen, wie z.B. Netzwerkanfragen mit illegalen Parametern, die Fehlverhalten im Lokalen Netzwerk verursachen. Einen Überblick über die Prinzipien und Probleme von Firewallsystemen findet man in [123].
- ▶ *Virtuelle Private Netzwerke (VPN)* kommen dann zum Einsatz, wenn das Netzwerk einer Organisation physikalisch aus mehreren lokalen Netzwerken besteht, die über das unsichere Internet untereinander verbunden sind, es sich aber logisch so verhalten soll, als ob sich alle beteiligten Rechner in einem gemeinsamen, abgesicherten lokalen Netz befinden. Dazu wird der Datenverkehr zwischen verschiedenen physikalischen lokalen Netzwerken automatisch und für den Benutzer transparent verschlüsselt. Außenstehende können so die ausgetauschten Daten nicht abfangen und damit Mißbrauch treiben. Zertifikate und digitale Signaturen stellen im „Hand-Shake“-Protokoll des Verbindungsaufbaus die Identität der kommunizierenden Partner sicher.
- ▶ HTTP sieht für den Datenaustausch zwischen Client und Server keinerlei Verschlüsselung vor. Das *Secure Socket Layer (SSL)* [23] ist eine Erweiterung, mit dessen Hilfe sich der Datenaustausch bei HTTP-Anfragen auf Socketebene verschlüsseln läßt. Auch hier spielen Zertifikate eine entscheidende Rolle für die Absicherung der Verbindung. SSL ist daher in vielen Aspekten vergleichbar mit einem VPN.

Nur findet die Realisierung hier auf Ebene der Software statt und nicht auf Ebene der Netzwerkprotokolle. Daher bedarf es weder auf Seiten des Servers noch auf Seiten des Clients spezieller Hard- oder Software. Allerdings beschränkt sich der Schutz auf den Datenaustausch zwischen WWW-Server und WWW-Browser über HTTP.

Bei einem WWW-basierten Lernsystem bietet sich die Verwendung von SSL an, weil es von den existierenden WWW-Browsern bereits unterstützt wird. Durch seine Verwendung läßt sich die Sicherheit des Datentransfers ohne nennenswerten Aufwand realisieren. Mit den anderen Verfahren lassen sich die Daten schützen, nachdem sie übertragen wurden.

7.1.2 Authentisierung des Benutzers und seiner Aktionen

In Abschnitt „5.2.6 Authentisierungsverfahren“ wurden die Verfahren zur Benutzerauthentisierung vorgestellt. In diesem Abschnitt soll jetzt untersucht werden, wie mit diesen Verfahren die Authentisierung des Benutzers und der Benutzeraktionen realisiert werden kann.

Bewertung der Verfahren zur Benutzerauthentisierung

Da die Aus- und Weiterbildung an jedem normalen Arbeitsplatzrechner stattfinden können soll, ist für diesen Bereich die Frage nach den erforderlichen Hardware- und Softwarevoraussetzungen von großer Bedeutung. Es sollten Verfahren bevorzugt werden, die mit Standardhardware bzw. -software auskommen. Typisch für B2B-Lernszenarien ist die Existenz geschlossener Umgebungen, denen z.B. nur die Mitarbeiter einer Organisation angehören. In solchen Umgebungen lassen sich interne Standards, was die Ausstattung mit Hard- und Software angeht, definieren und umsetzen. Damit ist es möglich, den Standard an die spezifischen Sicherheitsbedürfnisse anzupassen, und man muß nicht, wie in reinen WWW-basierten Lernszenarien, als Standard übernehmen, was an heterogener und oft inkompatibler Hard- und Softwareausstattung verfügbar ist. Allerdings wird kein Administrator alle Arbeitsplatzrechner mit teurer Hard- oder Software ausstatten, z.B. einem Iris-Scanner, nur weil mit dieser das gelegentlich durchgeführte Lernen besonders sicher ist. Entscheidender sind da die Anforderungen, die sich aus der täglichen Arbeit ergeben.

Verfahren zur Authentisierung durch Wissen sind in dieser Hinsicht unproblematisch, da sie keine nennenswerten Anforderungen an die eingesetzte Hard- und Software stellen.

Die erhöhte Sicherheit bei Verfahren zur Authentisierung durch Besitz (Chipkarte) erfordert auch einen erhöhten Hardwarebedarf. Jeder Schülerrechner muß über einen Chipkartenleser verfügen. In einer allgemeinen Umgebung wäre dies ein Problem, da Chipkartenleser (noch) nicht zur Standardausstattung eines Rechners gehören. Außerdem benötigt man nicht nur eine Chipkarte und einen Chipkartenleser, sondern auch eine vertrauenswürdige Infrastruktur zur Ausstellung der Chipkarten (PKI). In einer geschlossenen Umgebung kann man alle Rechner mit der notwendigen Hardware ausstatten, und das Schaffen der Infrastruktur für die Kartenausgabe ist möglich. In einem B2B-Anwendungsszenario ist es daher, zumindest aus technischer Sicht, kein Problem, Chipkarten einzusetzen.

Mittlerweile sind bereits Tastaturen und auch Mäuse mit integriertem Fingerabdruckscanner kommerziell erhältlich. So gesehen lassen sich biometrische Verfahren, die auf Fingerabdrücken beruhen, sicherlich auch im Bereich der Aus- und Weiterbildung einsetzen. Biometrische Systeme dagegen, die spezielle Hardware, wie z.B. Iris- oder Unterschriftenscanner, benötigen oder deren Hardware beträchtlichen Platz einnimmt, wie etwa ein Handflächen-scanner, eignen sich eher für die Absicherung von speziellen Arbeitsplätzen oder für die Zugangskontrolle zu sicherheitskritischen Räumlichkeiten als für die WWW-basierte Aus- und Weiterbildung. Gut geeignet sind auch Verfahren, die auf Stimm- oder Gesichtserkennung oder einer Kombination von beiden beruhen. Heutzutage verfügt nahezu jeder Rechner über einen Mikrofoneingang, und auch Kameras sind für alle gängigen Rechnertypen verfügbar. Diese Hardware könnte dann nicht nur für die Benutzerauthentisierung verwendet werden, sondern mit ihr lassen sich auch Audio- und Videokonferenzen realisieren¹, für die es gerade beim Lernen eine Reihe von Anwendungen gibt (z.B. Audio- oder Videokonferenz mit einem Tutor oder auch Gruppenarbeit).

Ein anderes Problem bei biometrischen Verfahren ist, daß es sich noch nicht um eine ausgereifte Technik handelt, sondern Vieles befindet sich noch in einem Entwicklungsstadium. Das belegt auch ein Feldversuch für das Bundeskriminalamt (BKA) und das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), bei dem 1999 am Fraunhofer-IGD verschiedene biometrische Verfahren untersucht wurden ([129],[130] und [131]). Hierbei wurde sowohl die Handhabbarkeit und Zuverlässigkeit im täglichen Betrieb getestet als auch Überwindungsversuche angestellt. Getestet wurden elf unterschiedliche Geräte: drei Fingerabdruck-Scanner, ein Handgeometrie-Scanner, zwei Gesichtserkennungssysteme, zwei Unterschriften-Analyser, ein Kombisystem

1. Das ist auch das Anwendungsgebiet, für das diese Hardware hauptsächlich entwickelt wird.

aus Gesichts-, Stimm- und Lippenbewegungs-erkennung (in zwei unterschiedlichen Hardwareausführungen) und ein Iris-Scanner. Bei vielen der getesteten Systeme handelte es sich noch um Entwicklungsprototypen oder Vorserienmodelle. Fast die Hälfte (45%) der getesteten Geräte ließ sich relativ einfach überwinden¹ (z.B. mit Attrappen von Fingerabdrücken bzw. mit Foto). Auch zeigte es sich, daß viele der biometrischen Geräte anfällig für Replay-Attacken sind, bei denen Aufzeichnungen von früheren erfolgreichen Authentisierungen eingesetzt wurden.

Authentizität von Benutzeraktionen

Mit keinem der existierenden Verfahren zur Benutzerauthentisierung läßt sich jedoch verhindern oder erkennen, ob ein Schüler, der sich ordnungsgemäß authentisiert hat, die Ausführung des Lernmaterials und insbesondere der Tests einer anderen Person überläßt oder sonstige unzulässige Hilfsmittel verwendet. Vielmehr gehen die Verfahren davon aus, daß nach erfolgreicher Authentisierung alle Aktionen, die unter einer bestimmten Identität ausgeführt werden, auch der Person zugeordnet werden können, die die Authentisierung durchgeführt hat. Das Kontrollsystem führt das Protokoll unter der Annahme weiter, daß die authentifizierte Person wirklich die angegebene Identität besitzt. Das ist ausreichend, wenn man davon ausgehen kann, daß rechtmäßige Benutzer mit den ihnen eingeräumten Rechten keinen Mißbrauch treiben. Beim Lernen muß man jedoch von der Arbeitshypothese ausgehen, daß es Schüler gibt, die versuchen, das Lernsystem zu manipulieren (siehe „6.1.2 Integrität der Zertifizierung“). Diese werden, wenn es ihnen Vorteile bringt, auch Dritte unter ihrer Identität arbeiten lassen, und sie werden auch sonstige unzulässige Hilfsmittel verwenden. Selbst bei kontinuierlicher Authentisierung mit biometrischen Verfahren, etwa durch permanente Gesichtserkennung, ließe sich lediglich die Präsenz einer Person verifizieren.

Das Anliegen war jedoch, durch eine verlässliche Protokollierung der Benutzeraktionen eine Bewertungsgrundlage für den Lernerfolg eines Schülers zu erhalten. Der Rückschluß von den Benutzeraktionen auf den Lernerfolg eines Schülers läßt sich aber nur dann verlässlich ziehen, wenn man sicher sein kann, daß die Benutzeraktionen auch ausschließlich aus dem Wissensstand des jeweiligen Schülers resultieren. Die Authentizität der Benutzeraktionen ließe sich nur dann wirklich verlässlich sicherstellen, wenn der Lehrer verhindern kann, daß ein Schüler bei seinen Aktionen auf andere unzulässige Wissensquellen, wie z. B. andere Personen oder sonstige Hilfsmittel zugreifen kann. Das bedeutet jedoch, daß der Lehrer die vollständige administrative Kontrolle über das Lernumfeld des Schülers haben muß.

Die Forderung nach vollständiger administrativer Kontrolle über das Lernumfeld für eine zuverlässige Benutzerauthentisierung steht in Konflikt zu den anderen Zielen der Computer-unterstützten Aus- und Weiterbildung, insbesondere dem zeit- und ortsunabhängigen Lernen. Die Forderung nach vollständiger Überwachung des Schülers beim Lernen ist jedoch eine Maximalforderung und in dieser Form auch überhaupt nicht realisierbar. Sie müßte genauso auch für das traditionelle Lernen gelten. Aber auch dort wird nicht der Versuch unternommen, den Schüler bei jeder Art von Lernen zu kontrollieren. Bei konsequenter Umsetzung dieser Forderung müßte ein Schüler auch bei der Erstellung von Hausaufgaben oder Diplomarbeiten ständig überwacht werden, und es ist illusorisch anzunehmen, daß z. B. eine Universität den dafür benötigten Aufwand betreiben könnte. So gesehen kann der Lehrer bei der Bewertung derartiger Arbeiten also nicht hundertprozent sicher sein, ob diese wirklich Eigenleistungen des Studenten sind. Im Laufe der Zeit haben sich jedoch Verfahren etabliert, die zwar keine absolute Sicherheit, aber doch ein hinreichendes Maß an Sicherheit gewährleisten. Genauso muß bei computer- oder WWW-basierten Lernumgebungen ein Kompromiß gefunden werden zwischen Sicherheit und breiter Verfügbarkeit des Systems. Die Lösungsmöglichkeiten hierfür reichen von rechtlichen Regelungen über organisatorische Maßnahmen bis hin zu technischen Maßnahmen, die im folgenden erläutert werden.

Rechtliche Regelungen

Ein Lösungsansatz ist es, die Zuverlässigkeit der Benutzeridentifikation auf die rechtliche Ebene zu verlagern. Das bedeutet, der Schüler muß eine rechtlich verbindliche Erklärung abgeben, in der er versichert, daß alle für die Bewertung relevanten Aktionen Eigenleistung waren und er keine unzulässigen Hilfsmittel verwendet oder sonstwie das System manipuliert hat. Die Zertifizierung erfolgt unter der Voraussetzung, daß diese Erklärung der Wahrheit entspricht. Durch eine derartige Erklärung kann zwar Fehlverhalten von Seiten des Schülers nicht verhindert werden, aber sie ist sehr hilfreich, wenn im Nachhinein ein Fehlverhalten entdeckt wird und Sanktionen ergriffen werden sollen. Dem Schüler kann in einem solchen Fall im Nachhinein zumindestens der Abschluß aberkannt werden.

Dieses Vorgehen wird in der traditionellen Aus- und Weiterbildung dann angewendet, wenn es gilt, relevante Leistungen eines Schülers für einen wichtigen Abschluß zu bewerten, bei denen nicht durch administrative

1. Es wurde darauf verzichtet Überwindungsversuche durchzuführen, die zu Beschädigungen der Testhardware hätten führen können.

oder organisatorische Maßnahmen sichergestellt werden kann, daß die Leistung auf korrekte Art und Weise erbracht wurde, so z.B. bei Diplomarbeiten. Deren Erstellung erstreckt sich über einen längeren Zeitraum (mehrere Monate), und der Betreuer kann den Diplomarbeiter unmöglich während des gesamten Zeitraums überwachen und so Fehlverhalten von dessen Seite verhindern. Dieses Verfahren läßt sich auch auf das Computer-unterstützte Lernen anwenden. Die explizite Abgabe einer derartigen Erklärung oder implizite Abgabe als ein Teil der Anerkennung der Nutzungsbedingungen der Lehrinstitution ist unabhängig davon, welche sonstigen Maßnahmen noch ergriffen werden, und ist daher in jedem Fall anzuraten.

Organisatorische Maßnahmen: Trennung von Lernen und Zertifizierung

Ein anderer Ansatz, den man aus der Praxis der traditionellen Aus- und Weiterbildung übernehmen kann, ist die Trennung zwischen Lernen und Zertifizierung, d.h. die Einführung von expliziten Prüfungsereignissen wie Klausuren und mündlichen Prüfungen. Für das Zertifikat sind nur die Ergebnisse des Prüfungsereignisses relevant. Der Schüler kann sich das für das Bestehen notwendige Wissen in der Lernphase aneignen, die dem Prüfungsereignis vorausgeht. Das Bestehen der Prüfung ist aber nicht zwangsläufig an den erfolgreichen Abschluß der Lernphase gebunden. Er kann sich das Wissen auch auf anderem Weg aneignen und die Zertifizierung mit dem gleichen Erfolg abschließen, mit dem er auch die Lernphase durchlaufen hätte. Das Prüfungsereignis findet in einer Umgebung statt, über die der Trainingsprovider die vollständige Kontrolle hat und in der sich somit Manipulationen von Seiten des Schülers ausschließen lassen. Diese Kontrolle beinhaltet auch eine verlässliche Identifikation des Schülers, die Überwachung der verwendeten Hilfsmittel und in den meisten Fällen auch die Vorgabe eines Zeitrahmens für das Prüfungsereignis.

Dies läßt sich folgendermaßen auf das Computer-unterstützte Lernen übertragen. Während der Lernphase verwendet der Schüler das Lernsystem. Die im Benutzerprofil gesammelten Informationen dienen dabei lediglich der Optimierung des Lernprozesses, sind aber für die Zertifizierung nicht von Belang. Weil die Manipulation dieser Daten dem Schüler keinen Vorteil bringt, sondern im Gegenteil nur negative Auswirkungen auf den Lernprozeß hat, sind diese Daten und somit auch die Benutzerauthentisierung unkritisch, und es müssen keine Maßnahmen ergriffen werden, um deren Zuverlässigkeit sicherzustellen. Das Prüfungsereignis kann dann sowohl durch eine der traditionellen Formen (Klausur oder mündliche Prüfung) erfolgen als auch unter Verwendung des Lernsystems, allerdings dann in einer kontrollierten Umgebung mit verlässlicher Benutzeridentifikation und Überwachung der verwendeten Hilfsmittel. In diesem Fall sind dann auch die Informationen im Benutzerprofil, die während des Prüfungsereignisses erzeugt werden, von Bedeutung.

Während der Lernphase kann der Schüler mit einem Lernsystem orts- und zeitunabhängig lernen. Dies gilt aber nur in sehr eingeschränktem Maß für die Zertifizierung. Es ist zwar denkbar, daß Schüler und Trainingsprovider beim individuellen Lernen einen individuellen Prüfungstermin vereinbaren, aber in der Regel werden Prüfungen nur zu bestimmten Terminen stattfinden, also zeitabhängig sein. Ein größeres Problem ist jedoch insbesondere beim WWW-basierten Training der Prüfungsort. Eine Prüfung kann nur an einem Ort stattfinden, über den der Administrator die volle Kontrolle hat. Leben seine Schüler alle in derselben geographischen Region, dann ist die Durchführung einer Prüfung kein größeres Problem, denn es ist allen Schülern zuzumuten, daß sie sich für eine Prüfung an einem Prüfungsort versammeln. Sind die Schüler aber geographisch so verteilt, daß ihnen die Anreise an einen zentralen Prüfungsort nicht zuzumuten ist, dann muß die Prüfung an mehreren Orten angeboten werden. Dies ist prinzipiell zwar kein Problem und wird in der Praxis auch durchaus so durchgeführt (z.B. zentrales Abitur in Bayern oder Prüfungen an der Fernuniversität), aber es erhöht den organisatorischen Aufwand für die Prüfung enorm. Zuerst müssen genügend geeignete Prüfungsorte gefunden werden, über die der Trainingsprovider oder ein verlässlicher Stellvertreter die Kontrolle hat. Diese Prüfungsorte müssen auch alle über eine vergleichbare technische Ausstattung verfügen. Dann müssen die Prüfungsaufgaben an allen Prüfungsorten verfügbar gemacht werden, ohne daß diese vorher bekannt werden. Es muß auch sichergestellt werden, daß an jedem Prüfungsort eventuelle Rückfragen der Schüler ausreichend beantwortet werden können, und schließlich muß sichergestellt werden, daß die Durchführung und Auswertung der Prüfung an allen Orten vergleichbar sind.

Generell hat die Trennung von Lernen und Zertifizierung folgende weitere Nachteile:

- ▶ Die Prüfung bedeutet einen zusätzlichen Aufwand zu der Lernphase, in der sich der Schüler sein gesamtes Wissen angeeignet hat. Im Idealfall sollte die Zertifizierung zur selben Bewertung des Schülers führen wie die Information in seinem Benutzerprofil und ist somit eigentlich redundant.
- ▶ Ein anderer Aspekt, der aus der zeitlichen Beschränktheit der Prüfung resultiert, ist, daß immer nur ein Ausschnitt, aber nicht das gesamte Wissensgebiet getestet werden kann. Bei der Planung einer Prüfung muß daher versucht werden, eine möglichst repräsentative und aussagekräftige Auswahl an Prüfungsaufgaben zusammenzustellen. Allerdings gibt es auch eine Obergrenze für die Komplexität von Prüfungsaufgaben. So lassen sich umfangreichere Aufgaben, wie etwa der Inhalt einer Semester-, Studien- oder gar Diplomarbeit, nicht als Prüfung realisieren. Der Kernbestandteil dieser Aufgaben sind Anteile,

die nicht in einer kontrollierten Umgebung durchzuführen sind oder zumindestens nicht in einem Zeitraum, über den die Kontrolle aufrecht erhalten werden kann.

Durch die Trennung von Zertifizierung und Lernen kann man zwar eine sichere Authentisierung in der Zertifizierung gewährleisten, aber dies erfordert zusätzlichen Aufwand.

Authentisierung durch Plausibilitätsanalyse bei integrierter Lernerfolgskontrolle

Ist die Lernerfolgskontrolle in das Lernmaterial integriert und erfolgt kontinuierlich, dann kann ein Lehrer anhand der Benutzerprofilaten den Verlauf des Lernerfolges nachvollziehen und analysieren. Wenn er dabei Irregularitäten entdeckt (z.B. sich wiederholende plötzliche Wechsel zwischen Wissen und Nichtwissen bei demselben Thema), dann sind das Hinweise auf mögliche Wechsel der Person, die lernt, oder Probleme des Schülers, denen er auf jeden Fall weiter nachgehen sollte, etwa durch einen expliziten Test. Das Aufdecken derartiger Unregelmäßigkeiten sollte durch geeignete Analysewerkzeuge unterstützt werden (siehe auch Abschnitt „7.2.4 Verfolgbarkeit von Abläufen durch das Key Center“).

Auch wenn als Folge der Plausibilitätsanalyse doch ein expliziter Test durchgeführt werden muß, dann ist er in der Regel mit weniger Aufwand verbunden als ein kompletter Test. Das kommt daher, daß aufgrund der Information aus dem Benutzerprofil und den Ergebnissen der Plausibilitätsanalyse nur bestimmte Bereiche gezielt getestet werden müssen. Weicht der Eindruck, den der Prüfer in einem solchen Test von dem Schüler gewinnt, stark von den Informationen aus dem Benutzerprofil ab, dann deutet dies auf eine Manipulation hin, und er kann noch immer einen kompletten Test durchführen, um zu einer korrekten Einschätzung des Wissensstands des Schülers zu kommen.

Diese Vorgehensweise wird auch bereits in der traditionellen Aus- und Weiterbildung verwendet. Die Grundlage für die Bewertung einer Diplomarbeit wird zwar in erster Linie die schriftliche Ausarbeitung sein, aber der Betreuer wird diese Ausarbeitung auch mit dem Eindruck vergleichen, den er während der Ausarbeitung von dem Diplomanden gewonnen hat. Wenn es zwischen beiden Bewertungen zu große Diskrepanzen gibt, wird er diesen nachgehen.

7.1.3 Zugriffskontrolle

Die meisten existierenden Sicherheitsmechanismen zielen darauf ab, zu verhindern, daß ein unberechtigter Benutzer auf die Daten eines berechtigten Benutzers zugreifen oder sich als berechtigter Benutzer ausgeben kann. Bei Lernmaterial hat man jedoch nicht nur einen berechtigten Benutzer, sondern es gibt den Eigentümer des Lernmaterials (Autor bzw. Trainingsprovider) und den Schüler. Das gewünschte Verhalten ist, daß der Eigentümer die Zugriffsrechte festlegt und der Schüler das Lernmaterial nur so nutzen kann, wie es der Eigentümer in den Nutzungsrechten festgelegt hat. Wie in Abschnitt „6.2.3 Unbefugter Zugriff“ dargelegt, verliert der Eigentümer die Kontrolle über sein Lernmaterial, sobald er es an den Schüler ausliefert. Weil der Schüler, was die Vergabe der Zugriffsberechtigungen angeht, nicht mehr an die Vorgaben des Eigentümers gebunden ist, stellt er, wie in Abbildung 42 gezeigt, ein potentielles Sicherheitsloch dar.

Soll, auch nachdem Lernmaterial an die Schüler ausgeliefert wurde, der Eigentümer festlegen können, wer auf sein Lernmaterial zugreifen kann und in welchem Umfang der Zugriff möglich ist, dann wird der Eigentümer auch die Kontrolle über ausgeliefertes Lernmaterial behalten. In dieser Arbeit wird vorgeschlagen, dies über die obligatorische Verschlüsselung von Lernmaterial zu realisieren. Das Vorgehen wird in Abschnitt „7.2.1 Encryption-Enforcement“ im Detail vorgestellt. Die wesentlichen Punkte sind dabei, daß Lernmaterial nur in verschlüsselter Form ausgeliefert und abgespeichert wird. Damit ein Schüler auf Lernmaterial zugreifen kann, muß es von einer vertrauenswürdigen Komponente temporär entschlüsselt werden. Diese Komponente entschlüsselt Lernmaterial nur dann, wenn der Eigentümer dem Schüler die entsprechenden Zugriffsrechte eingeräumt hat und der Zugriff gemäß den vereinbarten Nutzungsbedingungen geschieht.

7.1.4 Technische Maßnahmen zum Schutz des Urheberrechts

Das Verfahren zur obligatorischen Verschlüsselung wurde so entworfen, daß es auch zum Schutz des Urheberrechts eingesetzt werden kann. So verfügt es über eine integrierte digest-basierte Dokumenterkennung und eine globale Registratur für Lernmaterial. Indem der Eigentümer sein Lernmaterial registriert, kann er seinen Urheberschaftsanspruch dokumentieren. Die integrierte Dokumenterkennung identifiziert jede Kopie von registriertem Lernmaterial als solche und stellt sicher, daß sie nur gemäß den Vorgaben des Urheberrechtshabers genutzt werden kann.

Der Schutz durch die obligatorische Verschlüsselung läßt sich überwinden, wenn Lernmaterial so in eine andere digitale Darstellungsform überführt wird (z.B. Formatkonvertierung), daß es von einem Nutzer als identisch zu den Originaldaten wahrgenommen wird (z.B. Änderungen der Auflösung oder Farbtiefe bei Bildern), oder über analoge Medien weitergegeben wird (Ausdruck). Daher wird neben der obligatorischen Ver-

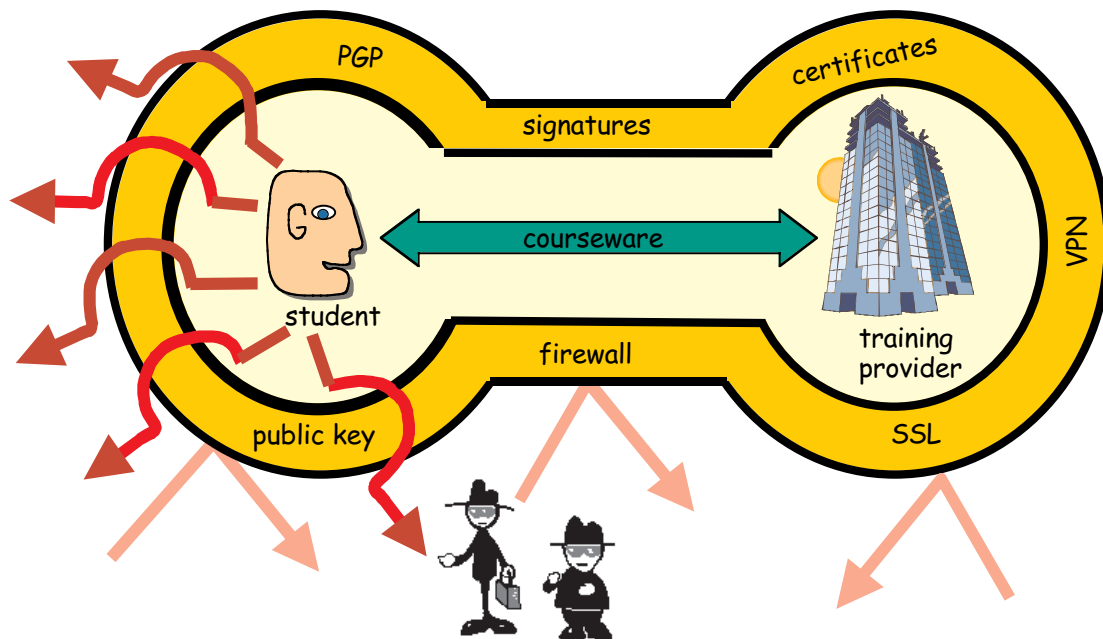


Abbildung 42. Der Schüler als potentielles Sicherheitsloch

schlüsselung noch ein zweiter Schutzmechanismus verwendet, der in diesen Fällen zum Tragen kommt: Die Urheberrechtsinformation wird mit Hilfe von robusten digitalen Wasserzeichen direkt in die Nutzdaten des Lernmaterials eingebracht. Das Einbringen der Wasserzeichen erfolgt dabei automatisch. In Abschnitt „7.2.2 Ein automatisiertes Verfahren für die Verfolgung unbefugter Nutzung urheberrechtlich geschützten Materials“ wird beschrieben, welche Wasserzeichen eingebettet werden, wie dies geschieht und wie mit Hilfe der eingebetteten Information der Urheberrechtsinhaber ermittelt werden kann.

7.1.5 Maßnahmen zur Erkennung und Verhinderung von Manipulationen

Wie bereits erwähnt, ist der Schutz vor Manipulationen durch den Schüler ein wichtiger Sicherheitsaspekt im Bereich Computer-unterstütztes Lernen. Die beste Lösung für dieses Problem ist, alle Komponenten des Lernsystems, die kritisch für die Sicherheit sind, so zu realisieren, daß der Schüler keinen Zugriff auf sie hat. D.h. sie sind entweder auf einem sicheren Server angesiedelt oder – falls das Betriebssystem des Schülerrechners dies unterstützt – in einem Bereich des Betriebssystems, auf den Schüler keinen Zugriff haben. In diesem Fall muß man lediglich dem jeweiligen Administrator (des Servers bzw. des Schülerrechners) vertrauen können. Wird der Server von einem Trainingsprovider betrieben, kann man davon ausgehen, daß nur vertrauenswürdige Personen mit der Administration des Servers betraut werden. Insbesondere beim WWW-basierten Lernen ist jedoch problematisch, daß der Trainingsprovider keinerlei Kontrolle über die Administration des Schülerrechners hat oder wenn die verwendeten Betriebssysteme nicht über ausreichende Schutzmechanismen verfügen. In solchen Fällen sollten alle sicherheitskritischen Komponenten auf dem Server realisiert werden. In Abschnitt „8.5 Framework zur Lernerfolgskontrolle“ wird vorgestellt, wie mit diesem Ansatz die elementaren Dienste für die WWW-basierte Lernerfolgskontrolle (Tests) sicher realisiert werden können.

7.2 Umsetzungskonzept einer sicheren Lernumgebung

Dieser Abschnitt befaßt sich mit Möglichkeiten, den Urheberrechtsschutz und die Vertraulichkeit von Lernmaterial zu sichern. Es wird ein Konzept vorgestellt, das geeignete Sicherheitsmechanismen verknüpft, um eine Umgebung zu schaffen, in der Lernmaterial sicher genutzt und ausgetauscht werden kann. Der zentrale Punkt ist, daß mit diesem Konzept der Eigentümer immer die volle Kontrolle über sein Material behält und so Mißbrauch erkennen und verhindern kann, auch nachdem das Material an die Anwender (Schüler) ausgeliefert wurde. Durch die Kombination mehrerer Sicherheitsmechanismen, die in Abschnitt „7.1 Lösungsansätze“ vorgestellt wurden, läßt sich ein Maß an Sicherheit realisieren, wie es für B2B-Lernszenarien erforderlich ist. Insbesondere kann so die Vertraulichkeit der Inhalte sichergestellt werden. Im folgenden werden die einzelnen Mechanismen im Detail vorgestellt und beschrieben, welche Aufgaben diese im Zusammenspiel der verschiedenen Mechanismen übernehmen. Abbildung 43 stellt dieses schematisch dar.

7.2.1 Encryption-Enforcement

Um zu verhindern, daß Benutzer unrechtmäßig Dokumente kopieren und weitergeben können, sieht das Konzept eine zwangsweise, dokument-spezifische Verschlüsselung vor. Weil die Dokumente sowohl auf den Client- als auch den Serverrechnern verschlüsselt werden müssen und die Verschlüsselung in Echtzeit erfolgen muß, wird eine symmetrische Chiffre eingesetzt. Durch die dokument-spezifische Verschlüsselung, wobei die symmetrischen Schlüssel von einer zentralen Instanz verwaltet werden, ist es möglich, die Verwendung jedes Dokuments exakt zu verfolgen und zu kontrollieren.

Funktionsweise des Encryption-Enforcements

Die Grundidee ist dabei, daß auf einem Lernarbeitsplatzrechner alle Dateien nur in verschlüsselter Form auf die Speichermedien, wie Festplatten und Diskettenlaufwerke, geschrieben werden. Ein Benutzer kann die Daten nur betrachten oder bearbeiten, wenn das dafür verwendete Programm im Arbeitsspeicher Zugriff auf die entschlüsselten Daten hat. Daher müssen die Daten jedesmal entschlüsselt werden, bevor sie in den Arbeitsspeicher geladen werden. Das Besondere bei diesem Konzept ist, daß Schlüssel verwendet werden, die spezifisch sind für die Kombination Dokument und aktueller Benutzer. Die Vergabe dieser Schlüssel erfolgt transparent und automatisch durch einen Schlüssel-speicher als zentrale Instanz, dem sogenannten *Key Center*. Dieses Key Center wird in einer abgesicherten Umgebung betrieben, wo es sicher vor unerlaubten Zugriffen oder Manipulationen von Seiten der Benutzer ist. Unmittelbar nach erfolgter Verschlüsselung verwirft der Arbeitsplatzrechner den Schlüssel. Die zur Nutzung der Lerninhalte erforderlichen symmetrischen Schlüssel werden also nur über kurze Zeiträume auf dem Client-Rechner gehalten. Da auf dem Client-Rechner daher faktisch keine Schlüssel gespeichert sind, stellt er somit kein lohnenswertes Ziel für Angriffe dar. Jedesmal, wenn ein Dokument in den Arbeitsspeicher geladen werden soll, muß der Schlüssel wieder vom Key Center geladen werden. Das Key Center ist daher in jeden Zugriff auf eine Dokumentinstanz involviert und kann jeden Zugriff protokollieren bzw. kann auch bestimmen, wer auf ein spezifisches Lernmaterial zugreifen darf und wer nicht, indem es keinen Schlüssel an den Arbeitsplatzrechner ausliefert.

Ob ein Benutzer einen Schlüssel für ein bestimmtes Lernmaterial erhält oder nicht, entscheidet das Key Center anhand der vom Eigentümer des Lernmaterials vergebenen Zugriffsrechte. Das Konzept sieht dazu eine eigene, globale Benutzer- und Gruppenverwaltung vor, basierend auf X.509 Benutzerzertifikaten. Dadurch wird die Benutzer- und Gruppenverwaltung unabhängig von der Benutzer- und Gruppenverwaltung des Betriebssystems und unterliegt vollständig der Kontrolle des Key Centers und nicht der Kontrolle einer Vielzahl von Systemadministratoren in unterschiedlichen Institutionen. Diese globalen Benutzer- und Gruppenkennungen bilden auch die Grundlage für die Spezifikation von Zugriffsrechten für Lernmaterial.

Abbildung 44 stellt das Encryption-Enforcement graphisch dar. Man erkennt, daß, bevor ein Benutzer auf die Daten zugreifen kann, diese zuerst mit dem Schlüssel entschlüsselt werden müssen, mit dem sie abgespeichert wurden. In der in der Abbildung dargestellten Situation muß also Benutzer 2, bevor er die Daten betrachten kann, diese mit dem Schlüssel von Benutzer 1 entschlüsseln. Dieser muß zunächst vom Key Center anfordert werden. Das Key Center protokolliert mit, wann welcher Benutzer welche Schlüssel angefordert hat. Da jeder Schlüssel aber spezifisch ist für eine Kombination von Benutzer und Dokument, läßt sich aus den Aufzeichnungen des Key Centers jederzeit die Historie eines jeden Dokuments rekonstruieren. Um sich unberechtigt Zugang zu den Inhalten zu verschaffen genügt es daher nicht, die Daten oder gar die gesamte Festplatte zu stehlen. Da alle Daten verschlüsselt abgespeichert werden, kann der Datendieb nur dann auf den Inhalt zugreifen, wenn er vom Key Center den entsprechenden Schlüssel erhält. Dazu muß er sich aber gegenüber dem Key Center authentisieren. Abgesehen davon, daß er keinen Schlüssel erhalten würde, würde der Zugriffsversuch auch noch festgehalten werden. Um sich also Zugriff zu verschaffen, benötigt er neben den verschlüsselten Daten auch noch den Schlüssel für einen autorisierten Benutzer. Aber selbst damit hinterläßt der Zugriff noch eine Spur, die zurückverfolgt werden kann.

Zur Umsetzung der Zugriffskontrolle ist es erforderlich, daß dem Key Center bei einer Schlüssel-anforderung für ein auf dem Client-System angefragtes Dokument eine eindeutige Kennung übergeben werden kann. Diese wird durch die Identifikation eines Lernmaterials anhand seines Digests realisiert. Der Digest ist ein kryptographischer Hashwert, d.h. ein numerischer Wert, der mit Hilfe einer Einwegfunktion so berechnet wird, daß mit hinreichender Sicherheit für zwei unterschiedliche Dokumente zwei unterschiedliche Werte berechnet werden (siehe auch Abschnitt „Hash-Verfahren“ auf Seite 101). Da der SHA-1 Hashalgorithmus (siehe

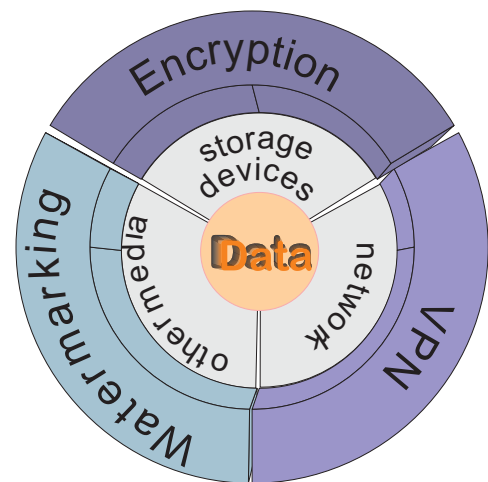


Abbildung 43. Schutzmechanismen

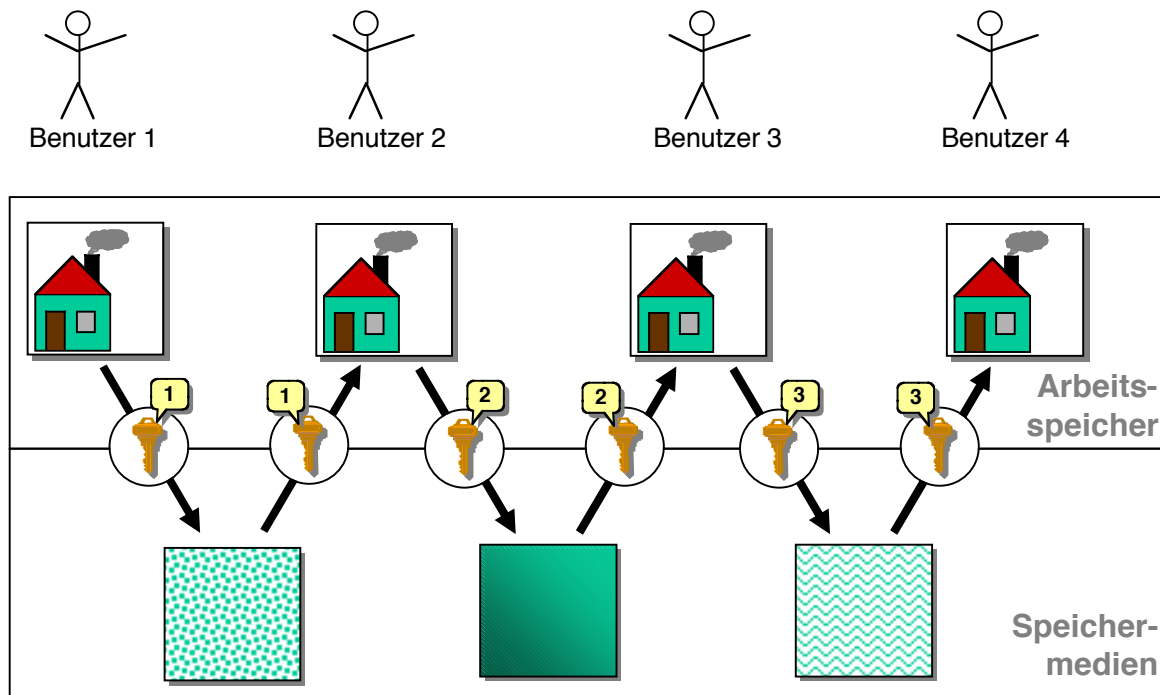


Abbildung 44. Vorgehensweise bei Encryption-Enforcement

Abschnitt „SHA-1“ auf Seite 102) im Hinblick auf kryptographische Angriffe und etwaige Kollisionen als sicherer im Vergleich zu MD4 oder MD5 gilt [95], wird er in dieser Arbeit eingesetzt.

Das Konzept sieht auch spezielle Server vor, die die zentrale permanente Ablage und Verwaltung von Lernmaterial übernehmen. Diese werden als *Content Server* bezeichnet. Dokumente lassen sich auf dem Content Server baumartig zu Gruppen zusammenfassen, vergleichbar der Verzeichnisstruktur auf Dateiebene. Damit Lernmaterial von den Schülern genutzt werden kann, muß es zuvor auf einem Content Server abgelegt sein und sein Digest dem Key Center bekannt gemacht werden. Diesen Vorgang bezeichnet man als *Registrierung* und Dokumente, die auf dem Content Server abgelegt sind, als registrierte Dokumente. Benutzer können registrierte Dokumente entweder vom Content Server herunterladen und lokal abspeichern oder mittels eines WWW-Frontends über HTTP direkt in den Browser laden. Der Übertragungskanal (Dateitransfer, email usw.), über den ein registriertes Dokument ausgetauscht wird, ist dabei willkürlich.

Es liegt in der Natur der Sache, daß ein einziges in einem Dokument verändertes Bit zu einem neuen, veränderten Hashwert führt. Somit ist die Registrierung eines Dokuments bei einem Key Center erst dann sinnvoll, wenn sich der Inhalt und damit der Hashwert nicht mehr ändert. Dies ist im allgemeinen erst dann der Fall, wenn das Dokument fertiggestellt ist oder zumindestens ein Zwischenstand gesichert werden soll. Bei Lernmaterial ist dieser Punkt unproblematisch, da sich Lernmaterial während der Nutzung in aller Regel nicht mehr ändert.

Der Vorteil dieses Konzepts ist, daß nicht bei jedem Zugriff auf eine Datei ein Zugriff auf das Key Center notwendig ist. Damit ist das Key Center als eine zentrale Ressource kein potentieller Flaschenhals. Würden alle Dateien unter Mitwirkung des Key Centers ver- und entschlüsselt, dann würde z.B. das Einloggen auf einem Betriebssystem, in dessen Verlauf viele Systemdateien geändert werden, zu einer unerträglich hohen Belastung des Key Centers und zu einem unmäßigen Überfluß sowohl an Dokumenten als auch an Protokolldaten auf dem Key Center führen.

Es wird daher unterschieden zwischen registrierten Dokumenten, die zwischen unterschiedlichen Benutzern und Rechnern ausgetauscht werden können, und lokalen Dokumenten, die nur lokal auf einem Rechner verfügbar sind. Sobald ein Dokument registriert ist, unterliegt es dem Encryption-Enforcement. Um zu vermeiden, daß sich registrierte Dokumente als lokale Dateien abspeichern lassen¹ und diese dann unkontrolliert weitergegeben werden können, müssen auch die lokalen Dokumente verschlüsselt werden. Nur erfolgt dabei die Verschlüsselung nicht mit Schlüsseln vom Key Center, sondern mit einem rechnerspezifischen Schlüssel,

1. Sobald in einem registrierten Dokument auch nur ein einziges Bit geändert und dieses Dokument danach wieder abgespeichert wird, ändert sich der Digest, und es wird zu einem neuen Dokument, und zwar zu einem lokalen.

dem sogenannten *Master Key*. So ist für die Ver- und Entschlüsselung von lokalen Dokumenten keine Verbindung zum Key Center notwendig. Allerdings können lokale Dokumente auch nur auf dem Rechner verwendet werden, auf dem sie erzeugt wurden. Wenn ein Benutzer eine neue Datei erstellt, dann geschieht dies als ein lokales Dokument. Erst nach der Registrierung bei einem beliebigen Content Server ist es möglich, dieses Dokument an einen anderen Benutzer auf einem anderen Rechner weiterzugeben. Das Konzept sieht auch vor, daß anstelle eines rechnerspezifischen Master Keys ein personenbezogener Master Key (Personalized Master Key) verwendet werden kann. Dann sind die Dokumente anstatt an einen spezifischen Rechner an einen speziellen Benutzer gebunden.

Die Ver- und Entschlüsselung erfolgt durch eine Enforcement-Komponente, die als Betriebssystemerweiterung (siehe Abbildung 45) realisiert werden kann. Damit erreicht man, daß die Ver- und Entschlüsselung transparent für den Benutzer und für die Anwendungen erfolgt und somit alle Arten von Dokumenten erfaßt. Daher können auf einem Arbeitsplatzrechner, der mit diesem Konzept die Lernumgebung und vor allem das Lernmaterial schützt, alle normalen Anwendungen verwendet werden. Die damit erstellten Dateien werden automatisch ver- und entschlüsselt.

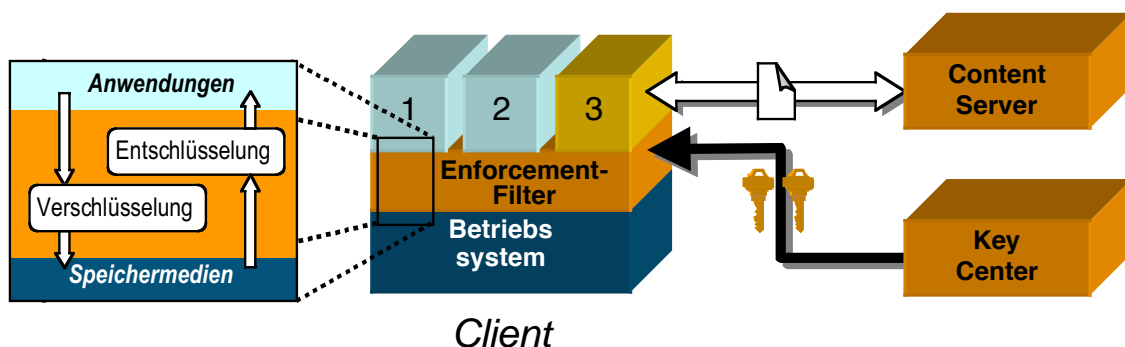


Abbildung 45. Funktionsweise Encryption-Enforcement

Das hier geschilderte Encryption-Enforcement ist ein Kernstück des Umsetzungskonzepts einer sicheren Lernumgebung. Durch das Erzwingen der Verschlüsselung auf jedem Client-System und die Kontrolle über das eingesetzte symmetrisch verschlüsselte Lernmaterial ist eine Nutzung von Lernmaterial ohne die Kenntnis des Key Centers unmöglich. Die Anforderung hinsichtlich Absicherung des Urheberrechts sind damit weitgehend erfüllt. Erfüllungsvoraussetzung ist jedoch, daß die Sicherheitsmechanismen nicht deaktiviert werden können, d.h. das eingesetzte Basis-Betriebssystem erlaubt eine klare Trennung zwischen Nutzerkonten und Administratorenkonten mit unterschiedlichen Privilegien. Damit kann ein Administrator die Enforcement-Komponente in einem Bereich des Betriebssystems installieren, auf den normale Benutzer keinen Zugriff haben. Für die Einrichtung einer sicheren Lernumgebung ist es daher nicht notwendig, den Schülern zu trauen, sondern es genügt, wenn man dem Administrator trauen kann.

Netzwerkfilterung

Neben dem Austausch der Daten über ein persistentes Speichermedium (Dateisystem oder Floppy Disk) muß es auch möglich sein, Dokumente über das Netzwerk auszutauschen. Heutzutage ist insbesondere der Austausch über HTTP von Bedeutung. Daher überwacht im hier vorgeschlagenen Umsetzungskonzept für eine sichere Lernumgebung eine eigene Systemkomponente permanent den ein- und ausgehenden Netzwerkverkehr. Werden verschlüsselte Daten von einem registrierten Dokument empfangen, dann sorgt diese Netzwerkkomponente dafür, daß die eingehenden Daten transparent für die Anwendungen entschlüsselt werden. In dieser Hinsicht wird das Netzwerk genauso behandelt wie jedes andere Speichermedium. Aber es gibt doch einen Unterschied: Die Netzwerkkomponente erkennt zwar eingehende registrierte Dokumente und entschlüsselt sie auch automatisch, aber Verschlüsselung ausgehender Daten ist aufgrund der paketorientierten Verarbeitung nicht möglich. Die Ursache dafür ist, daß registrierte Dokumente lediglich anhand ihres Digests erkannt werden können. Bei der Ablage auf einem Speichermedium wird jedes Dokument als eigenständige Einheit behandelt. Bei der Übertragung über Netzwerk ist das nicht der Fall; zum einen werden oft mehrere Dokumente als eine Einheit übermittelt, und zum anderen werden neben den eigentlichen Nutzdaten (Dokumente) auch Steuerungsdaten übertragen. Durch den hier gewählten anwendungsunabhängigen Ansatz ist es prinzipiell nicht möglich, Steuerungsdaten von Nutzdaten zu unterscheiden und so die einzelnen Dokumente im Datenstrom zu isolieren.

Erst die Existenz dieses Netzwerkfilters ermöglicht es, vertrauliches Lernmaterial in einem der Standard-WWW-Browser zu verwenden. Auf dem Content Server ist ein gewöhnlicher WWW-Server installiert. Dieser

ist aber so konfiguriert, daß er registrierte Dokumente nur in verschlüsselter Form versendet¹. So werden die Daten verschlüsselt zu dem WWW-Browser übertragen. Bevor die Daten auf einem sicheren Client-System jedoch den WWW-Browser erreichen, erkennt die Netzwerkkomponente, daß ein verschlüsseltes registriertes Dokument empfangen wird, fängt die verschlüsselten Daten ab, entschlüsselt sie und gibt sie dann im Klartext an den WWW-Browser weiter, der sie dann problemlos darstellen kann. Der WWW-Server auf dem Content Server muß über keinerlei Zugangskontrolle verfügen, sondern die Sicherheit wird allein durch die Netzwerkkomponente realisiert. Das bedeutet, daß ein Benutzer eines Client-Systems ohne Encryption-Enforcement, wenn er mit einem WWW-Browser auf den WWW-Server auf dem Content Server zugreift, alle auf dem WWW-Server verfügbaren Dokumente zwar herunterladen kann, aber anfangen kann er nur etwas mit nicht registrierten Dokumenten. Denn alle registrierten Dokumente erhält er nur in verschlüsselter Form, kann sie aber nicht entschlüsseln, da er nicht über die notwendige Enforcement-Komponente zur Entschlüsselung verfügt. Abbildung 46 zeigt die Funktionsweise des Netzwerkfilters.

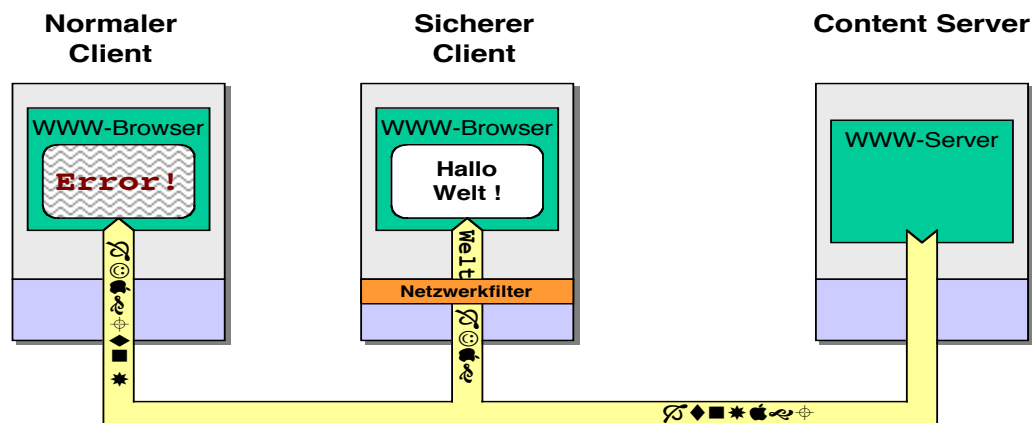


Abbildung 46. Funktionsweise Netzwerkfilter

Wahrung der Vertraulichkeit bei digitalem Datenaustausch

Besteht das Netzwerk, in dem das Lernmaterial verwendet wird, ausschließlich aus sicheren Client-Systemen, dann ist die Vertraulichkeit des Lernmaterials gewährleistet. Wird ein registriertes Dokument von einem sicheren Rechner zu einem zweiten sicheren Rechner übertragen, dann ist nur die Übertragung problematisch. Denn sobald das registrierte Dokument auf dem zweiten Rechner wieder abgespeichert wird, wird das Dokument anhand seines Digest als registriertes Dokument erkannt und daher automatisch wieder verschlüsselt, genauso wie auf dem ersten sicheren Rechner. Es muß daher sichergestellt werden, daß die Daten während der Übertragung zwischen zwei sicheren Bereichen nicht gefährdet sind. Dies läßt sich erreichen, indem man die Daten während der Übertragung verschlüsselt. Da es aber nicht möglich ist zu entscheiden, ob eine Übertragung Daten eines registrierten Dokuments enthält oder nicht, muß man jede Kommunikation zu einem anderen sicheren Rechner außerhalb derselben gesicherten Umgebung verschlüsseln. Findet die Kommunikation innerhalb einer sicheren Umgebung statt, dann kann man auf die Verschlüsselung verzichten.

Mit SSL gibt es ein etabliertes Verfahren für den sicheren Austausch von Daten. Das Konzept sieht vor, daß die Netzwerkkomponente jede Kommunikation mit anderen sicheren Rechnern mittels SSL verschlüsselt (siehe Abbildung 47). So können unbefugte Mithörer die Daten nicht abhören. Um sicherzustellen, daß die Kommunikation nur zwischen vertrauenswürdigen Rechnern erfolgt, werden nur SSL-gesicherte Verbindungen zwischen zertifizierten Rechnern zugelassen. Die Netzwerkkomponente realisiert somit die Funktionalität eines Virtuellen Privaten Netzwerks (VPN). Jede Netzwerkverbindung zu einem unsicheren Rechner ist eine Sicherheitslücke. Daher sieht das Konzept auch vor, daß der Systemadministrator durch Maßnahmen wie z.B. den Einsatz einer Firewall jede Netzwerkverbindung zu nicht vertrauenswürdigen Rechnern unterbindet.

7.2.2 Ein automatisiertes Verfahren für die Verfolgung unbefugter Nutzung urheberrechtlich geschützten Materials

Entdeckt der Inhaber des Urheberrechts, daß Material von ihm in unberechtigter Weise genutzt wird, dann steht er vor dem Problem, zweifelsfrei nachweisen zu müssen, daß es sich bei diesem Material auch tatsächlich um sein geistiges Eigentum handelt. Das Umsetzungskonzept beinhaltet ein Verfahren, bei dem alle Schritte dafür vollautomatisch erfolgen. Dieses Verfahren basiert darauf, daß in jedes registrierte Dokument,

1. Dazu bedarf es keinerlei Erweiterung des WWW-Servers; sondern es genügt, die Inhalte in verschlüsselter Form auf dem WWW-Server abzulegen.

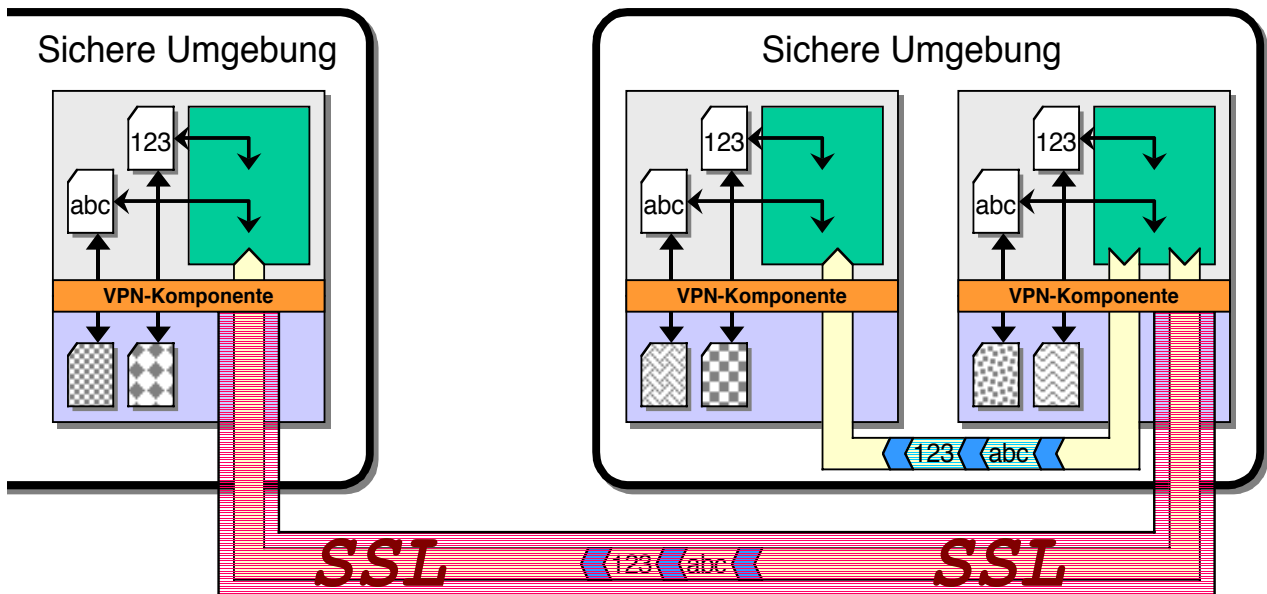


Abbildung 47. VPN-Komponente

sofern der Typ des Dokuments dies zuläßt, Wasserzeichen eingebettet werden. Das Einbetten dieser Wasserzeichen geschieht automatisch, ohne daß der Eigentümer dies explizit veranlassen muß. Daher ist sichergestellt, daß in jeder Kopie diese Wasserzeichen vorhanden sind. Die Wasserzeichen werden so eingebracht, daß nur ein vertrauenswürdiger Key Center Administrator alle Wasserzeichen auslesen kann und anhand der Wasserzeicheninformation den Urheberrechtsinhaber ermitteln kann.

Im folgenden sollen die Details des Verfahrens vorgestellt werden:

Automatisches Einbringen von Wasserzeichen

Prinzipiell gibt es keine Einschränkung hinsichtlich der Dokumenttypen, in die Wasserzeichen eingefügt werden können, jedoch muß ein Wasserzeichenverfahren, damit es einsetzbar ist, über folgende Eigenschaften verfügen:

- ▶ Es erlaubt das Einbringen von mehreren, voneinander unabhängigen Wasserzeichen.
- ▶ Es ist robust gegenüber D/A- und A/D Wandlung¹.
- ▶ Wasserzeichen können in Echtzeit eingebettet werden.
- ▶ Zum Auslesen der Wasserzeichen wird das Originalmaterial nicht benötigt (Blind detection).
- ▶ Wahrnehmbarkeit der Wasserzeichen ist konfigurierbar².
- ▶ Mit einem Wasserzeichen lassen sich 64 Bit Nutzdaten einbetten.
- ▶ Zum Einbetten und Auslesen der Wasserzeichen wird ein Schlüssel (Schlüssellänge 64 bit) verwendet³.

Ein Wasserzeichenverfahren, das diese Forderung erfüllt, ist in [124], [127] beschrieben. Die ersten beiden Wasserzeichen werden bei der Registrierung des Dokuments auf dem Content Server eingebettet. Eines dieser zwei Server-Wasserzeichen ist ein öffentliches Wasserzeichen (Annotation Watermark), das eine eindeutige Identifikation des Dokuments enthält. Diese Dokument-ID setzt sich zusammen aus dem Digest des Dokuments und der ID des Content Servers. Dies ermöglicht den automatischen Download von Dokumenten durch die Wasserzeichen-Komponente (siehe unten). Der Digest ist mit einer Größe von 160 Bit allein schon doppelt so groß wie die einbettbare Nutzinformation. Daher werden nur 48 der 160 Bit des Digests verwendet. Wegen der spezifischen Eigenschaften des SHA-1 Verfahrens können beliebige 48 Bit ausgewählt werden. Abbildung 48 stellt das Berechnungsverfahren für die Nutzdaten des öffentlichen Wasserzeichens bildlich dar. Da der Schlüssel für dieses Wasserzeichen öffentlich ist, kann jedermann diese Information auslesen und allein aus den Dokumentdaten ermitteln, wer der Eigentümer ist. Als zweites Server-Wasserzeichen wird ein festes Bitmuster mit einem geheimen Schlüssel, der spezifisch für den jeweiligen Content Server ist, einge-

1. Damit ist sichergestellt, daß sich die Wasserzeichen auch in Ausdrucken nachweisen lassen.

2. Wasserzeichen müssen unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle für den Benutzer bleiben. Wo jedoch diese Wahrnehmbarkeitsschwelle liegt, hängt auch ab vom Anwendungsszenario (Medizin, Fernsehen).

3. Je nachdem, ob der Schlüssel geheimgehalten oder öffentlich bekannt gegeben wird, spricht man von einem geheimen oder einem öffentlichen Wasserzeichen. Nur wer den Schlüssel kennt, kann die eingebettete Wasserzeicheninformation wieder auslesen.

bettet. Diese Schlüssel sind nur dem Administrator des Key Centers bekannt. Mit Hilfe dieses geheimen Wasserzeichens läßt sich nachweisen, daß es sich bei einer Datei um ein Dokument handelt, das bei einem bestimmten Content Server registriert ist.

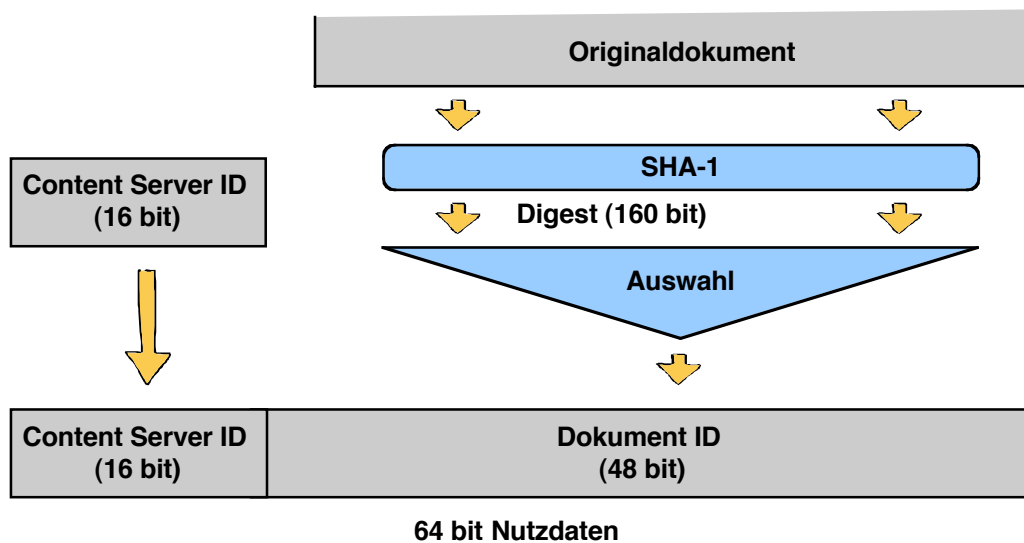


Abbildung 48. Berechnung der Nutzdaten für das öffentliche Server-Wasserzeichen.

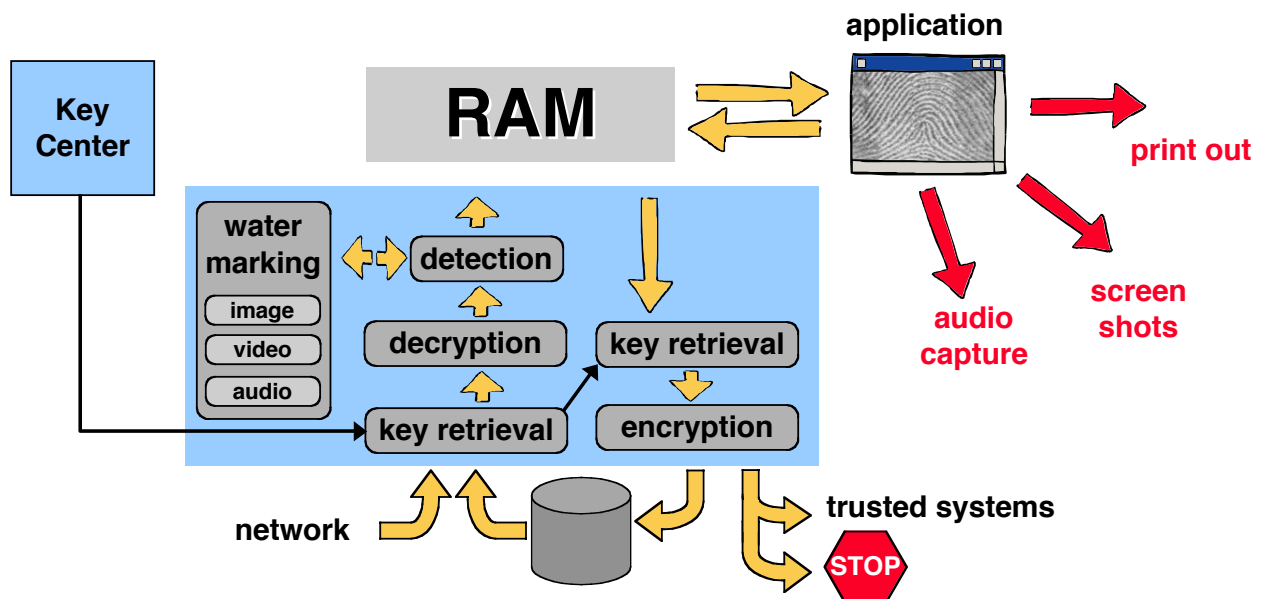


Abbildung 49. Benutzer-Wasserzeichen

Wenn ein Dokument den Content Server verläßt (Download), dann enthält es genau diese zwei Wasserzeichen. Bevor ein Benutzer den Inhalt eines Dokuments betrachten kann, werden auf dem Clientrechner von der Wasserzeichen-Komponente – quasi als eine Art Fingerabdruck – noch weitere Wasserzeichen eingebettet mit der Information, welcher Benutzer auf das Dokument zugegriffen hat. Abbildung 49 veranschaulicht diese Vorgehensweise. Wie man erkennt, erfolgt das Einbetten der Benutzerwasserzeichen, nachdem der Schlüssel für das Dokument vom Key Center angefordert und das Dokument entschlüsselt wurde. Da es spezifisch für den Typ des Dokuments (Bild, video, Audio usw.) ist, wie sich Wasserzeichen einbetten lassen, benötigt man für unterschiedliche Dokumenttypen auch unterschiedliche Wasserzeichenverfahren. Daher verfügt ein sicherer Client-Rechner über eine Detection-Komponente, die feststellt, ob ein Dokument von einem Typ ist, in den Wasserzeichen eingebracht werden können. Ist das der Fall, dann reicht diese Detection-Komponente die, jetzt unverschlüsselten, Daten an ein entsprechendes Wasserzeichenmodul weiter, das dann typspezifisch das Wasserzeichen einbettet, bevor die Daten in dem Arbeitsspeicher abgelegt werden. Das entsprechende Wasserzeichenmodul vorausgesetzt läßt sich mit diesem Konzept daher jede Art von Dokument mit Wasserzeichen versehen. Als Wasserzeichen wird der Benutzername, bzw. ein Fragment aus dem

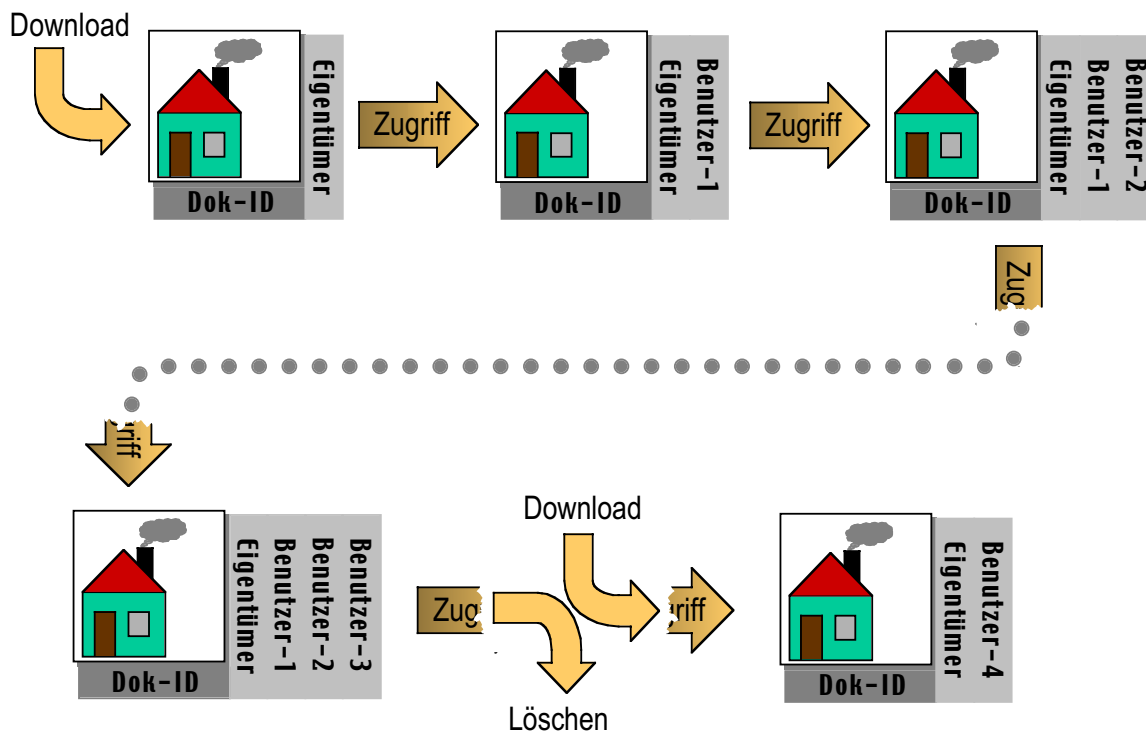


Abbildung 50. Verwendung von digitalen Wasserzeichen

kryptographischen Hashwert seines X.501 DNames, mit einem benutzerspezifischen Schlüssel eingebracht. So wird jedes Mal, wenn ein Benutzer das Dokument in den Speicher lädt, ein weiteres Benutzerwasserzeichen eingebettet. Wird ein Dokument mehrfach in Folge von demselben Benutzer in den Speicher geladen, dann wird nur ein Wasserzeichen eingefügt. Da jedes Wasserzeichen zu einem kleinen Verlust in der Bildqualität führt und sich diese Verluste akkumulieren, werden nur maximal fünf Wasserzeichen eingefügt. Enthält ein Bild bereits die maximal möglichen 5 Wasserzeichen, dann startet die Wasserzeichenkomponente einen neuen Wasserzeichenzyklus, d.h. der alte Dokumentinhalt wird verworfen und automatisch eine neue Kopie mit nur den zwei initialen Wasserzeichen vom Content Server geladen, bevor das neue Wasserzeichen eingefügt wird (siehe Abbildung 50). Dies geschieht transparent für den Benutzer. Um welches Dokument es sich dabei handelt und welcher Content Server eine neue Kopie bereitstellen kann, kann man aus der Information in dem öffentlichen Wasserzeichen ableiten.

Nachweis des Urheberrechts

Im folgenden wird ein Verfahren erläutert, mit dem ein Key Center Administrator für eine oder mehrere Dateien vollautomatisch feststellen kann, ob es sich bei dieser Datei um ein registriertes Dokument handelt und wenn ja, wer der Eigentümer und wer die letzten legitimen Benutzer waren. Das funktioniert auch, wenn die Daten nicht in digitaler Form, sondern nur in analoger Form vorliegen, z.B. nur der Ausdruck eines Bildes. Dann müssen die Daten nur zuerst wieder in eine digitale Darstellung umgewandelt werden. Ein Bild muß also z.B. wieder eingescannt werden. Da für die Durchführung des Verfahrens die geheimen Schlüssel benötigt werden, kann und darf es nur von einem Key Center Administrator verwendet werden.

Um nachzuprüfen, ob eine Datei ein Wasserzeichen enthält, das mit einem bestimmten Schlüssel eingefügt wurde, extrahiert man mit Hilfe dieses Schlüssels die Wasserzeichendaten aus der Datei. Enthält die Datei ein Wasserzeichen¹, dann sollte die extrahierte Information die Information sein, die ursprünglich eingebettet wurde. Ist dies nicht der Fall, dann erhält man ein zufälliges Bitmuster. Mittels eines Hypothesentests läßt sich überprüfen, ob ein Wasserzeichen vorhanden ist. Im Rahmen dieser Arbeit ist es für das Verständnis der Vorgehensweise ausreichend, wenn bei der Abschätzung der Wahrscheinlichkeiten vereinfachend angenommen wird, daß die Wahrscheinlichkeit für das Auslesen eines 0-Bits genauso wahrscheinlich ist wie das Auslesen eines 1-Bits (Laplace-Annahme).

1. genau genommen ein Wasserzeichen, daß mit diesem Schlüssel eingebracht wurde,

Mit etwas elementarer Wahrscheinlichkeitsrechnung kann man jetzt bestimmen, wie wahrscheinlich es ist, n richtige Bits auszulesen. Die Wahrscheinlichkeit ein Bit richtig auszulesen ist, unter der gemachten Annahme, gleich $p = 0.5$, und die Anzahl der korrekten Bits N ist binominalverteilt, d.h. die Wahrscheinlichkeit, daß n Bits richtig gelesen werden ist:

$$P(n \text{ Bits richtig}) = \binom{64}{n} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\right)^{64-n} = \binom{64}{n} \cdot \frac{1}{2^{64}} = \frac{64!}{n! \cdot (64-n)! \cdot 2^{64}} \quad (\text{GL 7})$$

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung besagt, daß man im Mittel 32 korrekte Bits auslesen wird, auch wenn kein Wasserzeichen eingebettet ist (Erwartungswert).

$$E(N) = n \cdot p = 64 \cdot \frac{1}{2} = 32 \quad (\text{GL 8})$$

Je mehr der eingelesenen 64-Bits jedoch mit dem erwarteten festen Bitmuster übereinstimmen, desto wahrscheinlicher ist es, daß es sich bei den eingelesenen Daten tatsächlich um Wasserzeichennutzdaten handelt, die mit diesem Schlüssel eingebettet wurden. Tabelle 14 zeigt die Wahrscheinlichkeiten für verschiedene Werte von n . Je nach dem gewünschten Maß an Sicherheit wählt man sich einen Schwellwert für die Anzahl der richtig eingelesenen Wasserzeichenbits. Werden so viele oder mehr richtige Wasserzeichenbits ausgelesen, dann geht man davon aus, daß ein Wasserzeichen vorhanden war.

n	40	41	42	43	44	45	50	55	60	64
P(n) ^a	3,00 10 ⁻²	1,64 10 ⁻²	8,43 10 ⁻³	4,07 10 ⁻³	1,84 10 ⁻³	7,81 10 ⁻⁴	3,53 10 ⁻⁶	1,77 10 ⁻⁹	3,68 10 ⁻¹⁴	5,42 10 ⁻²⁰

Tabelle 14. Wahrscheinlichkeiten n Bits korrekt einzulesen

a. P(n): Wahrscheinlichkeit, daß n der 64 Bits korrekt eingelesen wurden.

Damit läßt sich wie folgt feststellen, ob es sich bei einer Datei um ein registriertes Dokument handelt und, wenn ja, bei welchem Content Server dieses Dokument registriert ist:

Zuerst wird mit dem öffentlichen Schlüssel das öffentliche Server-Wasserzeichen ausgelesen und so die Content Server-ID ermittelt. Mit dieser Content Server-ID kann in der Datenbank auf dem Key Center der geheime Schlüssel für diesen Content Server nachgeschlagen werden und dann mit Hilfe des oben beschriebenen Verfahrens festgestellt werden, ob mit diesem Schlüssel das feste Bitmuster als geheimes Server-Wasserzeichen eingebettet wurde. Ist dies der Fall, dann ist der gewünschte Nachweis erbracht. Kann die Content Server-ID nicht korrekt ausgelesen werden, dann muß folgendes Verfahren angewandt werden: Man liest der Reihe nach mit allen geheimen Schlüsseln für die Content Server das geheime Server-Wasserzeichen aus und testet, ob die ausgelesenen Wasserzeichendaten mit dem festen Bitmuster übereinstimmen. Dabei merkt man sich den Content Server, für den die meisten korrekten Bits ausgelesen werden konnten und die Anzahl der übereinstimmenden Bits. Aufgrund dieser Information kann der Key Center Administrator dann entscheiden, wer der rechtmäßige Eigentümer ist.

Durch das Auslesen der Benutzer-Wasserzeichen kann nachvollzogen werden, wer die letzten rechtmäßigen Benutzer waren. Dies ist von Interesse, wenn eine illegitime Kopie eines Dokuments entdeckt wurde und diese zu dem (den) letzten legitimen Benutzer(n) zurückverfolgt werden soll. Damit lassen sich vorhandene Sicherheitslücken finden und beseitigen und auch eventuelles Fehlverhalten nachweisen und ahnden. Das Vorgehen beim Auslesen der Benutzer-Wasserzeichen ist weitestgehend analog zu dem Vorgehen bei den geheimen Server-Wasserzeichen. Es gibt allerdings einen wichtigen Unterschied. Während bei den Server-Wasserzeichen die zum Einbringen der Wasserzeichen verwendeten Schlüssel niemals den sicheren Server verlassen, müssen zum Einbetten der Benutzerwasserzeichen die Schlüssel an den Clientrechner übermittelt werden. Damit läßt sich aber nicht mehr ausschließen, daß diese Schlüssel kompromittiert werden. Indem für jeden Benutzer ein individueller Schlüssel verwendet wird, wird sichergestellt, daß nur ein begrenzter Schaden entsteht, falls ein Benutzerschlüssel kompromittiert wird. Hinzu kommt, daß sich ein Benutzer durch die Manipulation eines Benutzer-Wasserzeichens kaum Vorteile verschaffen kann. Fügt er sein eigenes Wasserzeichen ein, dann belastet er sich selbst. Er kann im schlimmsten Fall Benutzer-Wasserzeichen durch Überschreiben zerstören oder falsche Benutzer-Wasserzeichen einfügen. Aber da sich der Weg eines Dokuments durch die am Key Center mitprotokollierten Schlüsselanforderungen rekonstruieren lassen, wird die Gesamtsicherheit nicht in Frage gestellt. Allerdings ist der Aufwand, den man betreiben muß, um ein Benutzer-Wasserzeichen auszulesen, um ein beträchtliches größer als bei den Server-Wasserzeichen. Man muß für jeden Benutzer mit dessen Schlüssel das Benutzer-Wasserzeichen auslesen und überprüfen, ob die ausgelesenen Daten denen entsprechen, die für diesen Benutzer eingebettet wurden. Der Aufwand ist also direkt proportional zu der Anzahl der überprüften Benutzer, und im Extremfall müßte man alle Benutzer der Lernumgebung überprüfen.

Verallgemeinerung des Verfahrens für Lernmaterial in beliebiger Umgebung

Typisch für Lernmaterial ist, daß es, nachdem es erstellt wurde, an eine Vielzahl von Nutzern verteilt wird, die dann nur lesend darauf zugreifen. Daher ist Lernmaterial ein ideales Anwendungsgebiet für wasserzeichenbasierte Verfahren, wie das im vorherigen Abschnitt Vorgestellte. Allerdings wird Computer-basiertes Lernen nicht nur in sicheren Lernumgebungen stattfinden. Die Wasserzeichenkomponente stellt bei diesem Verfahren lediglich sicher, daß Wasserzeichen eingefügt werden, und verwaltet die verwendeten Schlüssel und Wasserzeichendaten. Diese Aufgaben lassen sich auch unabhängig von der Lernumgebung realisieren. Damit läßt sich das oben beschriebene Verfahren auf beliebige Umgebungen übertragen.

Bevor neues Lernmaterial zur Verfügung gestellt wird, registriert der Eigentümer es bei einer vertrauenswürdigen Registratur. Diese fügt dann ein geheimes Wasserzeichen zum Schutz des Urheberrechts ein. Nur wenn die Schlüssel für das Wasserzeichen ausschließlich von einer vertrauenswürdigen Instanz vergeben werden und auch nur dieser bekannt sind, kann ausgeschlossen werden, daß ein Benutzer, der fremdes Material als sein eigenes ausgeben will, selbst ein Wasserzeichen einbetten kann, das ihn als rechtmäßigen Inhaber des Copyrights ausweist, oder existierende Wasserzeichen durch Überschreiben zerstören kann. Die Registratur wird jedem Eigentümer eine eindeutige Benutzer-ID zuordnen, und diese Benutzer-ID oder ein davon abgeleiteter Wert läßt sich als Schlüssel für das Einbringen des geheimen Wasserzeichens verwenden. Es bietet sich an, neben dem geheimen Wasserzeichen auch ein öffentliches Wasserzeichen einzubetten, das eine Identifizierung des Materials enthält. Dieses Wasserzeichen dient nicht der Sicherheit, sondern erlaubt es einem Benutzer des Materials, auf zusätzliche Informationen über das Material zuzugreifen, das von der Registratur für dieses Material bereitgestellt wird.

Soweit entspricht das Vorgehen exakt dem oben beschriebenen. Was sich aber in einer allgemeinen Umgebung nicht realisieren läßt ist das dynamische Einbringen von Benutzerwasserzeichen auf der Clientseite. Aber ein Anbieter von Lernmaterial kann, bevor er Lernmaterial an einen Schüler ausliefert, ein weiteres Wasserzeichen (Schülerwasserzeichen) einbetten, das eine Identifikation des Schülers, an den das Material ausgeliefert wurde, enthält. Lernmaterial enthält also drei Wasserzeichen, wenn es bei dem Schüler angekommen ist. Daß sich von dem Schülerwasserzeichen nur der erste legitime Benutzer ermitteln läßt und nicht die drei letzten wie in einer sicheren Lernumgebung, ist für das Anwendungsszenario Lernen akzeptabel. Denn Schüler dürfen Lernmaterial typischerweise nicht an andere Benutzer weitergeben. Wenn man daher unrechtmäßig weitergegebenes Lernmaterial findet, dann ist in aller Regel auch der erste legitime Benutzer der Übeltäter. Im Kontext von Lernmaterial ist es auch kein Problem, ganze Institutionen als einen legitimen Benutzer zu behandeln.

7.2.3 Semantisches Dokumentmodell für die Verarbeitung, Darstellung und inhaltsbasierte Verfolgung von Dokumenten

Wie bereits erläutert beruht die Dokumentenerkennung in der sicheren Umgebung auf dem Digest. Um die Funktionalität zu gewährleisten, wäre es ausreichend, wenn man für jeden bekannten Digest¹ über einen entsprechenden Satz von Attributen festlegen könnte, an welche Benutzer Schlüssel für das zugehörige Dokument ausgeliefert werden. In der Tat assoziiert die sichere Lernumgebung mit jedem Digest auch die in Tabelle 15 aufgeführten Attribute.

Attribut	Beschreibung
Beschreibung	Textuelle Beschreibung des Dokumentinhalts.
Eigentümer	Benutzer, dem das Dokument zugeordnet ist. Ein Dokument kann nur einen Eigentümer haben, und dieser wird bei der Registrierung des Dokuments festgelegt und kann danach nicht mehr geändert werden.
Status	Aus Gründen der Sicherheit dürfen Dokumente nicht gelöscht werden. Der Eigentümer kann Dokumente aber deaktivieren. Für deaktivierte Dokumente werden keine Schlüssel ausgeliefert. Mit dem Attribut Status läßt sich festlegen, ob eine Datei aktiviert oder deaktiviert ist.

Tabelle 15. Digest-basierte Attribute

1. d.h. zu jedem Digest, der zu einem registrierten Dokument gehört,

Attribut	Beschreibung
Verfügbarkeit	Der Eigentümer legt fest, in welchem Zeitraum an andere Benutzer Schlüssel für dieses Dokument ausgeliefert werden ^a . Er muß in jedem Fall ein Datum für den Beginn der Verfügbarkeit des Dokuments festlegen. Er kann auch ein Datum festlegen, nachdem dieses Dokument nicht mehr für andere Benutzer verfügbar ist, aber das ist optional. Verzichtet er darauf, dann bleibt das Dokument für immer verfügbar.
Freunde	Eine Liste von Benutzer, denen besondere Zugriffsrechte eingeräumt werden.
Zugriffsrechte	Der Eigentümer kann explizite Zugriffsrechte für drei unterschiedliche Kategorien von Benutzern festlegen: Eigentümer, Freunde und andere Benutzer.

Tabelle 15. Digest-basierte Attribute

a. Der Eigentümer selbst kann auch außerhalb dieses Zeitraums auf das Dokument zugreifen

Die Möglichkeit, für jedes Dokument eine ausgezeichnete Gruppe von anderen Benutzern, die sogenannten Freunde, zu definieren und dieser Gruppe spezielle Zugriffsrechte zuteilen zu können, erlaubt ein Höchstmaß an Flexibilität in der Vergabe der Zugriffsrechte. Die Erfahrung mit dem ersten Prototyp aus dem CIPRESS-Projekt (siehe Abschnitt 9.2), in dem dieses Konzept realisiert wurde, hat unter anderem gezeigt, daß ein Mechanismus, der allein auf Gruppenzugehörigkeit beruht, nicht ausreichend ist.

Für die Vergabe der Zugriffsrechte muß eine Dokumentenverwaltung implementiert werden. Würde man sich dabei auf die in Tabelle 15 aufgeführten Attribute beschränken, dann ließe sich das logische Verhalten, das Benutzer mit Dokumenten assoziieren, nicht nachbilden. Daher sieht das Umsetzungskonzept auch ein Dokumentmodell vor, das die semantischen Aspekte von Lernmaterial berücksichtigt.

So wird jedem Lernmaterial auch ein symbolischer Name zugeordnet. Diese Namen sind hierarchisch (baumartig) aufgebaut, und verwandte Dokumente lassen sich zu Gruppen zusammenfassen, die ebenfalls mit symbolischen Namen versehen werden können. Damit läßt sich der Inhalt eines Content Servers logisch strukturieren, vergleichbar einem Dateisystem. Es lassen sich dann auch Werkzeuge entwickeln, die die logische Struktur eines oder mehrerer Content Server graphisch darstellen und es dem Benutzer erlauben, diese Struktur interaktiv zu bearbeiten (Bearbeiten von Dokumentattributen, Registrieren von neuem Lernmaterial und auch Download von existierendem Lernmaterial).

Lernmaterial kann und wird sich über die Zeit verändern (Versionen). Dabei soll die logische Zusammengehörigkeit der einzelnen Versionen erhalten bleiben. Das Umsetzungskonzept unterstützt daher in seinem Dokumentmodell auch Versionen. Wenn ein Benutzer neues Lernmaterial unter einem symbolischen Namen registriert, der bereits existiert, dann führt das weder zu einem Fehler noch wird das existierende Lernmaterial durch den neuen Inhalt ersetzt. Stattdessen wird der neue Inhalt zu einer neuen Version des Lernmaterials. Wenn ein Benutzer über den symbolischen Namen auf Lernmaterial zugreift, dann muß er explizit oder implizit immer auch die Versionsnummer angeben. Gibt der Benutzer die Versionsnummer nicht explizit an, dann wird angenommen, daß er die letzte aktivierte Version wünscht. Dieses Versionskonzept ist daher weitestgehend identisch mit dem, das im Betriebssystem VMS zum Einsatz kommt. Intern wird jede Version eines Dokuments als eigene unabhängige Einheit verwaltet. Daher können die Attribute, etwa die Zugriffsrechte, für jede Version individuell vergeben werden. Als Standardvorgaben werden die Attribute der Vorgängerversion vorgeschlagen. Damit ergibt sich das Verhalten, das ein Benutzer intuitiv erwartet. Die logische Zusammengehörigkeit resultiert allein aus der Tatsache, daß ein Benutzer bei der Registrierung den gleichen symbolischen Namen verwendet hat. Ein Schüler kann somit nicht nur auf die jeweils aktuelle Version eines Dokuments zugreifen, sondern auch alle anderen Versionen sind jederzeit verfügbar. Daß es durchaus Sinn macht, neben der aktuellen Version auch auf bestimmte ältere Versionen eines Dokuments zugreifen zu können, zeigt folgendes Beispiel: Angenommen ein Autor will in seinem Lernmaterial anderes Lernmaterial verwenden, um einen bestimmten Unteraspekt des Themas zu vermitteln. Dann möchte der Autor zwar sichergestellt wissen, daß das verwendete Lernmaterial (Dokument) seine Aufgabe erfüllt, aber es ist für ihn nicht von Interesse, wie das Lernmaterial dies realisiert. In diesem Fall wird er immer die aktuellste Version des Materials verwenden wollen, da er so automatisch in den Genuß aller Verbesserungen im Lernmaterial (Aktualisierungen bzw. Fehlerkorrekturen) kommt. Anders verhält es sich, wenn er in seinem Lernmaterial Material verwendet, z.B. ein Bild, und er in seinem Lernmaterial Bezug auf ein spezifisches Detail des verwendeten Materials nimmt. Dann wird er, auch wenn mittlerweile neuere Versionen verfügbar sind, wollen, daß immer die Version verwendet wird, die er ausgewählt hatte, als er sein Material erzeugt hat. Nur so kann er sicherstellen, daß das spezifische Detail, auf das er Bezug nimmt, auch tatsächlich vorhanden ist.

Neben der Versionsnummer verfügt Lernmaterial auch über ein Versionslabel. Wie bei dem Attribut Beschreibung handelt es sich dabei um eine textuelle Beschreibung. Aber während das Attribut Beschreibung dazu

dient, auszudrücken, was die spezifischen Eigenschaften des Lernmaterials bzw. dieser Version sind, kann mit dem Attribut Versionslabel beschrieben werden, warum es diese Version gibt. Insbesondere eignet sich dieses Attribut auch dazu, logische Zusammengehörigkeiten zwischen Versionen verschiedener Lernmaterialien auszudrücken. In der Praxis findet man oft die Situation, daß mehrere unterschiedliche Dokumente logisch zusammengehören, z.B. einzelne Quelltextdateien bei der Programmentwicklung. Die einzelnen Dokumente lassen sich dann zwar jedes für sich bearbeiten, aber da es inhaltliche Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Dokumenten gibt, macht nur ihre gemeinsame Nutzung Sinn. Existieren von jedem Dokument aber mehrere Versionen, dann muß man einen Weg finden auszudrücken, welche Versionen der Dokumente jeweils zusammengehören (Versionsmanagement). Um dies zu ermöglichen, wurde das Attribut Versionslabel eingeführt. Indem er allen logisch zusammengehörenden Versionen der verschiedenen Dokumente dasselbe Versionslabel zuweist, kann der Benutzer diese logische Zusammengehörigkeit auch zum Ausdruck bringen.

Attribut	Beschreibung
symbolischer Name	Hierarchisch aufgebauter Name für die logische Identifizierung des Dokuments
Versionsnummer	Nummer der Version
Versionslabel	Information zur Version

Tabelle 16. Semantische Attribute

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, daß das Umsetzungskonzept nicht einfach eine Menge von Dateien anhand deren Digests verwaltet, sondern es verfügt über ein semantisches Dokumentmodell, das wesentliche Aspekte bei der Verarbeitung, Darstellung und inhaltsbasierten Verfolgung von Lernmaterial unterstützt. Tabelle 16 enthält eine Auflistung aller semantischen Attribute. Durch das Zusammenwirken dieses semantischen Modells und der permanenten Überwachung auf der Clientseite lassen sich fortgeschrittene Dokumentmanagementfunktionalitäten realisieren:

- ▶ Das Clientsystem kann ohne Zutun des Benutzers erkennen, wann eine neue Version eines Dokuments erstellt wird¹, und diese automatisch registrieren.
- ▶ Auch läßt sich sicherstellen, daß Schüler immer mit der aktuellsten Version eines Lernmaterials arbeiten können. Wenn ein Benutzer auf eine ältere Version eines Dokuments zugreift, kann das Client-System ihm mitteilen, daß eine neuere Version verfügbar ist, und ihm die Möglichkeit² zur Aktualisierung des Dokuments geben.

Für den Anwendungsbereich Lernen ist insbesondere die zweite Möglichkeit von Interesse, da sie eine Möglichkeit darstellt, fehlerhaftes Lernmaterial auch nach der Auslieferung an den Schüler zu korrigieren bzw. zu aktualisieren.

Unterstützung von sekundärem Urheberrecht

Um auch sekundäres Urheberrecht (siehe Abschnitt „5.1.5 Urheberschutz“) korrekt handhaben zu können, verbietet es das Umsetzungskonzept, den Autoren Lernmaterial von anderen Autoren in eigenes Lernmaterial einzubetten. Wenn er Lernmaterial von anderen Autoren verwenden will, dann muß dies über eine Referenz geschehen. Da die Zusammenstellung von Material zu einem neuen Gesamtdokument eine eigenständige intellektuelle Leistung darstellt, ist der Autor auch der Urheberrechtsinhaber des neuen Lernmaterials mit den Referenzen. Da aber dieses Lernmaterial nur dann angezeigt werden kann, wenn auch auf alle referenzierten Materialien zugegriffen werden kann, sind sowohl die Urheberrechte des Autors als auch die Rechte der Urheberrechtsinhabers der verwendeten Materialien gewahrt. Denn die sichere Lernumgebung gewährleistet, daß jedes Lernmaterial nur entsprechend der Vorgabe des Urheberrechtsinhabers eingesetzt wird, und sie ist der Lage, die Nutzung zuverlässig mitzuprotokollieren. Bei WWW-basiertem Lernmaterial ist die Umsetzung dieser Forderung technisch kein Problem (HREFs). Dennoch ist dies ein Aspekt, den ein Autor bei der Erstellung von Lernmaterial beachten muß.

7.2.4 Verfolgbarkeit von Abläufen durch das Key Center

Das Key Center ist ein zentraler Punkt in dem vorgestellten Umsetzungskonzept. Es ist an jedem Zugriff auf registriertes Lernmaterial beteiligt. Dadurch wird erreicht, daß ohne sein Wissen und seine Zustimmung kein Zugriff auf registriertes Lernmaterial möglich ist. Dieser Abschnitt befaßt sich daher mit dem Aspekt der Verfolgbarkeit des Key Centers. Weiterhin wird aufgezeigt, welche Rolle das Key Center im Lernprozeß spielt.

1. Es wird erkannt, daß eine Datei, die ein registriertes Dokument enthalten hat, mit anderen Daten überschrieben wird.

2. Es wäre auch möglich, ältere Versionen automatisch durch die jeweils aktuellste Version zu ersetzen, aber damit würde man dem Benutzer die Möglichkeit verwehren, auf ältere Versionen zuzugreifen.

Verfügbarkeit des Key Centers

Das Key Center als die zentrale Instanz ist auch ein Single Point of Failure im Umsetzungskonzept. Fällt es aus oder ist die Netzverbindung zum Key Center gestört, kann nicht mehr auf registrierte Dokumente zugegriffen werden; auch nicht auf solche, die bereits lokal verfügbar sind. Das Key Center muß daher so betrieben werden, daß es immer verfügbar ist und auch über die entsprechende Leistungsfähigkeit verfügt, um alle Anfragen in akzeptabler Zeit bearbeiten zu können. Dies stellt höchste Anforderungen an die verwendete Hard- und Software aber auch an die Administration.

Eine Möglichkeit, die Verfügbarkeit und den Durchsatz an Schlüsselanfragen zu erhöhen, wäre der Einsatz mehrerer Key Center. Bei der Verteilung der Aufgabe auf mehrere Rechner wird es notwendig, die einzelnen Server synchron zu halten oder sie wieder zu synchronisieren, wenn es zu Unterbrechungen im Netzwerk gekommen ist. Wegen der Komplexität wird ein Key Center günstigerweise durch einen Rechnercluster realisiert. Bei einem solchen Rechnercluster teilen sich mehrere Rechner eine logische Netzwerkadresse, und die eingehenden Anfragen werden durch eine Lastverteilungskomponente gleichmäßig auf die verschiedenen physikalischen Adressen verteilt.

Obwohl mit diesem Ansatz die Verfügbarkeit optimiert wird und die Leistungsfähigkeit des Systems skalierbar wird, benötigt ein Clientrechner dennoch immer eine Netzwerkverbindung zum Key Center, wenn der Benutzer mit registrierten Dokumenten arbeitet. Abgesehen von den Kosten, die durch eine ständige Verbindung verursacht werden, bedeutet das auch, daß das System sich nicht auf einem Rechner ohne Netzanbindung (z.B. auf einem Laptop oder zu Hause) betreiben läßt. Abhilfe schaffen kann hier der Einsatz eines lokalen Schlüsselspeichers. Die bisherige Vorgehensweise war, daß die Schlüssel von der Encryption-Enforcement Komponente unmittelbar nach Gebrauch vernichtet werden und daher bei jedem Zugriff wieder neu vom Key Center geladen werden. Ein Schlüsselspeicher erlaubt die persistente Ablage von Schlüsseln auf dem Clientrechner. Ein Schlüsselspeicher kann zwar auch als reine Softwarelösung realisiert werden, aus Sicherheitsgründen sollte man aber einer Hardwarelösung den Vorzug geben, bei der die Schlüssel manipulationssicher auf einer Chipkarte abgelegt werden können. Bei der Verwendung eines Schlüsselspeichers muß ein Benutzer den Schlüssel für ein Dokument nur einmal beim Key Center anfordern und kann dann bei jedem weiteren Zugriff die lokale Kopie des Schlüssels in dem Schlüsselspeicher verwenden. Das funktioniert, weil für dieselbe Kombination Benutzer und Dokument immer derselbe Schlüssel verwendet wird. Damit kann der Rechner autonom betrieben werden: Solange keine Verbindung zu einem Content besteht, können auch keine neuen Dokumente registriert oder weitere Dokumente heruntergeladen werden, und die Schlüssel für die bereits vorhandenen Dokumente findet man im Schlüsselspeicher.

Allerdings wird durch die Realisierung eines Schlüsselspeichers auf dem Client-System ein neues Angriffsziel und damit ein neues Risiko geschaffen, das ergänzend zur Risikoanalyse in Abschnitt „6.2 Identifizierung der Bedrohung“ berücksichtigt werden muß. Das Key Center kann nun nicht mehr jeden Zugriff des Benutzers mitprotokollieren, sondern nur noch die erstmalige Zuteilung des Schlüssels an den Benutzer. Die Tatsache, daß der Benutzer Zugriff zu den Daten hatte, wird jedoch immer noch festgehalten, wenn auch nur einmal. Problematisch ist der Fall, daß sich ein Unbefugter Zugang zu einem Rechner mit gefülltem Schlüsselspeicher verschafft. Schafft es der Angreifer, sich als legitimer Benutzer auszugeben, so kann er ohne Spuren zu hinterlassen auf registrierte Dokumente zugreifen.

Auch sollten Schlüssel nicht für unbegrenzte Zeit in dem Schlüsselspeicher gespeichert werden. Würde man dies ermöglichen, so ergibt sich das Problem, daß ein Benutzer, auch nachdem ihm die Zugriffsrechte für ein bestimmtes Dokument entzogen wurden, noch für unbegrenzte Zeit auf das Dokument zugreifen kann, weil er den entsprechenden Schlüssel noch in seinem lokalen Schlüsselspeicher hat. Ganz lassen sich solche unbefugten Zugriffe nicht verhindern, aber wenn die Schlüssel im Schlüsselspeicher mit einem Verfallsdatum versehen sind, nach dessen Ablauf sie nicht mehr verwendbar sind, läßt sich das Sicherheitsrisiko auf ein erträgliches Niveau senken.

Würde man alle Schlüssel generell kurzfristig im Schlüsselspeicher ablegen, ihn also als Schlüsselcache verwenden, dann ließen sich auch kurzzeitige Unterbrechungen der Netzwerkverbindungen überbrücken, d.h. der Benutzer könnte also auch dann noch für eine kurze Zeit mit Dokumenten arbeiten, wenn die Verbindung zum Key Center ausfällt.

Standalone-Lernen

Die Verwendung eines Schlüsselspeichers ermöglicht auch Standalone-Lernen, d.h. ein Schüler kann ohne Verbindung mit dem Server des Trainingsproviders und des Key Centers lernen. Das Szenario ist dann: Ein Schüler verbindet sich zu einem Trainingsprovider und meldet sich für einen bestimmten Kurs an. Der Trainingsprovider übermittelt ihm alles benötigte Lernmaterial in verschlüsselter Form und legt die dazu gehörenden Schlüssel im Schlüsselspeicher ab. Danach wird die Verbindung getrennt und der Schüler kann dann

lokal den Kurs durcharbeiten. Alternativ können das Lernmaterial und die Schlüssel auch über CD-ROM oder ein anderes Speichermedium ausgeliefert werden. Kommt der Schüler beim Lernen in eine Situation, in der er zusätzliches Material benötigt, dann wird die Verbindung kurzzeitig wieder aufgebaut, das benötigte Material samt zugehörigem Schlüssel geladen und die Verbindung wieder abgebaut. Standalone-Lernen ist dann sinnvoll, wenn der Trainingsprovider bzw. das Key Center nicht im lokalen Netz vorhanden sind und die Reduktion der Verbindungsdauer zu einer Kostenersparnis führt.

Um die Übertragungskosten gering zu halten, wird man versuchen, nur möglichst wenig Material zu übermitteln, idealerweise nur das, welches der Benutzer auch verwendet. Genauso will man aber vermeiden, daß häufig Material nachgeladen werden muß. Handelt es sich um einen festen, vorkonfigurierten Kurs, dann ist genau bekannt, welches Material im Kurs verwendet wird, und man kann exakt dieses Material auch im voraus bereitstellen. Problematisch sind dynamische Kurse, hier ergibt sich erst im Verlauf des Kurses, welches Material zum Einsatz kommt. Lädt man das Material erst unmittelbar, bevor es zum ersten Mal verwendet wird, dann vermeidet man zwar, daß Material, das nicht verwendet wird, übertragen wird, durch das kontinuierliche Nachladen von neuem Material entsteht jedoch eine der Onlineverbindung sehr ähnliche Situation. Wie nahe man der Situation mit der stehenden Onlineverbindung kommt hängt, ab von der Zeitspanne, wie lange man lokal mit einem Kursschritt arbeiten kann, bevor eine neue Verbindung aufgebaut werden muß, um Material herunterzuladen. Alternativ kann man auch versuchen, möglichst gut vorherzusagen, welches Material am wahrscheinlichsten benutzt werden wird, und dieses schon prophylaktisch zu übermitteln. Im Extremfall führt dieses Vorgehen aber dazu, daß man auf Verdacht das gesamte Material vorladen muß.

Das eigentliche Problem mit dem Verfügbarmachen von Lernmaterial in einer Standalone-Situation ist jedoch, daß man mit dem Material auch die zugehörigen Schlüssel ausliefern muß. Damit hat der Schüler im Standalone-Betrieb aber immer Zugriff auf alles lokal verfügbare Lernmaterial, was ein potentiell Sicherheitsproblem ist, da das Key Center für die Dauer des Standalone-Betriebs die Kontrolle über das Material dem Schüler überläßt. Bei Lernmaterial, das keine vertraulichen Inhalte enthält, kann man sich behelfen, indem man eine maximale Gültigkeitsdauer für die Schlüssel aus dem Schlüsselspeicher vorgibt. Nach Ablauf dieser Gültigkeitsdauer verfällt der Schlüssel und die Sicherheit des Materials ist wieder gewährleistet. Allerdings kann aus den Informationen am Key Center nicht mehr entnommen werden, welches Material der Schüler wann und wie oft verwendet hat. Das Key Center verfügt nur noch über die Information, daß ein Schlüssel für eine potentielle Verwendung an den Schlüsselspeicher ausgeliefert wurde. Während diese Einschränkung für normales Material noch tragbar sein kann, ist dies ein echtes Problem für Testmaterial. Der Schüler kann jetzt jederzeit und beliebig oft auf das Testmaterial zugreifen, ohne daß der Trainingsprovider dies bemerkt und ohne daß ein Testergebnis an den Trainingsprovider übermittelt wird. Daher sollte man nur solches Testmaterial, das ausschließlich dem Selbsttest des Schülers dient, an einen Standalone-Rechner ausliefern. Daneben gibt es natürlich noch das im vorigen Abschnitt bereits angesprochene Problem, daß, wenn ein Unbefugter Zugang zu Rechnen erlangt, er auch die Schlüssel für einen bestimmten Benutzer erhält. Haben die Schlüssel nur eine beschränkte Gültigkeit, dann ist das Risiko jedoch tolerierbar.

Somit hält sich für den Standalone-Betrieb bei einer vernünftigen Wahl der Schlüssellebensdauer und wenn man darauf verzichtet, sensitives Testmaterial mit auszuliefern, das zusätzliche Sicherheitsrisiko in einem tolerierbaren Rahmen. Allerdings stehen in diesem Bereich die Anforderungen für die Sicherheit im Widerspruch zu denen der einfachen Benutzbarkeit. Tabelle 17 stellt die unterschiedlichen Ansprüche gegenüber.

	Sicherheit	Einfache Benutzbarkeit
Lebensdauer lokaler Dokumentschlüssel	so kurz wie möglich, um Zeitraum der Gefährdung minimal zu halten	so lange wie möglich, um zu vermeiden, daß nach Ablauf der Schlüsselgültigkeit eine Verbindung zum Key Center aufgebaut werden muß, nur um neue Schlüssel für das vorhandene Lernmaterial zu anfordern
Bereitgestelltes Lernmaterial	so wenig wie möglich (idealerweise nur genau das Material, das auch benutzt wird), damit im Fall eines Angriffs möglichst wenig Lernmaterial betroffen ist	möglichst alles Lernmaterial, das eventuell verwendet werden könnte, um das Nachladen von Lernmaterial zu vermeiden oder zumindestens sehr stark zu reduzieren

Tabelle 17. Sicherheitsansprüche versus Laufzeitanprüche

Das Problem bei dieser Lösung ist die Beschaffung und Lagerung der dokumentspezifischen Schlüssel. Man könnte für eine Standalone-Lösung auch die benutzerspezifischen bzw. die rechnerspezifischen Master Keys verwenden. Damit müßte auf dem Rechner nur ein Schlüssel für jeden legitimen Benutzer bzw. nur ein

Schlüssel pro Rechner gespeichert werden. Allerdings ist am Key Center auch nicht mehr länger die Information verfügbar, auf welche Dokumente der Schüler im Standalone-Betrieb zugegriffen hat. Bei Schlüsseln, die individuell für den Benutzer und das Dokument waren, ergab sich diese Information direkt daraus, welche Schlüssel im Schlüsselspeicher verfügbar waren und daher auch angefordert werden mußten. Der Preis für die Reduzierung der Bedarfs an Schlüsseln ist also ein Verlust an Kontrolle.

Da bereits in dem vorgestellten Konzept jeder Client-Rechner einen Master Key verwendet, ließe sich das relativ leicht umsetzen. Bei der Verwendung eines rechnerspezifischen Schlüssels wäre die Benutzung des Lernmaterials damit auf diesen einen Rechner beschränkt, allerdings hat dafür jeder Benutzer der Zugang zu diesem Rechner hat auch Zugang zu den Inhalten¹. Für registriertes Lernmaterial ist dies jedoch ein beträchtlicher Rückschritt. Verwendet man stattdessen benutzerspezifische Schlüssel, dann kann nur der Schüler, dessen Master Key verwendet wurde, auf das Lernmaterial zugreifen und nicht jeder, der Zugang zu dem Rechner hat. Mit benutzerspezifischen Master Keys ist der Einsatz des Lernmaterials auf unterschiedlichen Rechnern möglich. Das wäre z.B. sinnvoll, wenn der Schüler von beliebigen Rechnern in einem lokalen Netz auf das Lernmaterial zugreifen können soll. Allerdings hat diese Lösung zwei Probleme: Einmal muß die Implementierung um die Funktionalität für derartige benutzerspezifische Schlüssel erweitert werden, und zum anderen gibt es keine Möglichkeit, unterschiedlichen Benutzern den Zugriff auf dieselbe Datei zu erlauben, sondern es kann immer nur der Schüler auf das Lernmaterial zugreifen, mit dessen Master Key es verschlüsselt wurde.

Für den Bereich Lernen gibt es jedoch eine weitere Alternative. Denn hier werden Dokumente nicht auf individueller Basis verwendet sondern gruppenweise, d.h. eine logische Einheit beim Lernen (Kurs, einzelnes Kapitel oder Lernschritt) setzt sich aus mehreren Dokumenten zusammen, und alle Dokumente solch einer Gruppe haben identische Zugriffsrechte, und sie werden nur lesend verwendet. Diese Tatsache kann man sich zunutze machen und für alle Dokumente einer Gruppe denselben benutzerspezifischen Schlüssel verwenden, d.h. man vergibt Schlüssel, die spezifisch sind für die Kombination Gruppe und Benutzer. Damit kann man den Zugriff zu Lernmaterial individuell festlegen und die Anzahl der notwendigen Schlüssel enorm reduzieren, im Extremfall sogar bis auf einen (einem Schüler wird der Zugriff auf alles Lernmaterial eingeräumt). Die Granularität der Gruppen ist variabel und kann von dem Trainingsprovider an seine individuellen Bedürfnisse angepaßt werden. Es stellt sich jetzt aber die Frage, wie man für ein gegebenes Dokument den Schlüssel ermittelt. Unverändert gilt, daß die Identifikation der Dokumente über den Digest erfolgt. Der Schlüsselspeicher ist – genau wie das Key Center – eigentlich nur eine Tabelle, die für Kombinationen von Benutzerkennung und Digest den zugehörigen Schlüssel enthält. Würde man den Schlüssel für ein Gruppendokument über den Digest des Dokuments ermitteln, dann wäre das keine echte Einsparung, denn man hätte zwar weniger Schlüssel aber immer noch dieselbe Anzahl von Einträgen in der Schlüsseltabelle – nur gibt es jetzt mehrere Einträge mit demselben Schlüssel, wobei die Größe dieser Tabelle der kritische Punkt ist und nicht die Anzahl der unterschiedlichen Schlüssel. Gruppendokumente enthalten daher als Vorspann zu ihren verschlüsselten Daten auch eine Gruppenkennung. Wird solch eine Gruppenkennung in den Daten eines registrierten Dokuments vorgefunden, dann wird für dieses Dokument kein Digest berechnet, sondern diese Gruppenkennung wird quasi als Pseudodigest verwendet. Damit wird dann nur noch ein Tabelleneintrag pro Gruppe benötigt². Muß kein Digest berechnet werden, dann bedeutet dies auch eine Reduzierung der benötigten Rechenleistung. Wird bei der Registrierung von neuen Dokumenten entdeckt, daß der Digest des neuen Dokuments mit dem eines bereits existierenden Gruppendokuments übereinstimmt, dann wird genauso verfahren wie bei normalen Dokumenten, die Registrierung wird zurückgewiesen. Der Preis für diese Erweiterung ist:

- ▶ Neben registrierten und Master-Key-Dokumenten gibt es jetzt noch eine weitere Art von Dokumenten, die Gruppendokumente. Dafür sind Erweiterungen in dem Modell und der Implementierung nötig. Insbesondere bedarf es Werkzeuge zur Definition von Gruppen und zur Anforderung bzw. Bereitstellung der Gruppenschlüssel.
- ▶ Durch die Zusammenfassung von Lernmaterial zu Gruppen wird die Kontrolle unschärfer, so kann man aus den mitprotokollierten Daten nur herausfinden, daß auf ein Mitglied einer Gruppe zugegriffen wurde, aber man hat keine Möglichkeit herauszufinden, um welches Mitglied es sich dabei handelt. Wenn Gruppen eine logische Einheit repräsentieren, ist das jedoch kein Problem. Weil für den Trainingsprovider eher

1. Durch die Vergabe von lokalen Zugriffsrechten auf Dateisystemebene kann der Zugriff zwar auf bestimmte Benutzer begrenzt werden. Aber damit kann nicht verhindert werden, daß einer aus der Gruppe dieser Benutzer unberechtigten Dritten den Zugriff ermöglicht.

2. Für die Implementierung des Schlüsselspeichers bedeutet dies, daß man neben der Original-Schlüsseltabelle noch eine zweite Tabelle für die Gruppendokumente benötigt. Diese Tabelle enthält die Schlüssel für die unterschiedlichen Kombinationen von Benutzerkennung und Gruppenkennung. Eine Lösung mit nur einer einzigen Tabelle ist nur dann möglich, wenn sichergestellt ist, daß die Wertebereiche für Digests und Gruppenkennungen disjunkt sind. Die Verwendung zweier Tabellen ist aber kein Problem, da man aufgrund der Information, ob in den Dokumentdaten eine Gruppenkennung enthalten war oder nicht, immer weiß, in welcher der beiden Tabellen man nachsehen muß.

Konzepte wie Kurse, Kapitel oder Lernschritte von Interesse sind, entspricht diese Gruppeninformation sogar eher seiner Abstraktionsebene als Informationen, die auf einzelnen Dateien beruhen.

Verwendungszwecke beim Lernen

Wird Lernmaterial über das WWW oder über herkömmliche Kanäle verteilt, dann erhält der Schüler zusammen mit dem Lernmaterial auch die Kontrolle über das ausgelieferte Material. Sobald Lernmaterial ausgeliefert wurde, muß der Inhaber des Urheberrechts darauf vertrauen, daß der Empfänger sich an die Nutzungsvereinbarungen hält. Insbesondere kann man nicht vermeiden, daß der Empfänger Lernmaterial an unberechtigte Dritte weitergibt. Mit diesem Umsetzungskonzept behält der Inhaber des Urheberrechts zu jedem Zeitpunkt die Kontrolle über sein Lernmaterial. Der Grund dafür ist die Tatsache, daß der Schüler bei jedem Zugriff auf das Material den Schlüssel vom Key Center anfordern muß. Das Key Center liefert den Schlüssel jedoch nur dann aus, wenn der Eigentümer dem Schüler aktuell die entsprechenden Rechte eingeräumt hat. Sobald der Eigentümer einem Schüler die Rechte entzieht, erhält dieser für das Material keine Schlüssel mehr und kann daher nicht mehr auf das Lernmaterial zugreifen. Dies gilt auch dann, wenn das Lernmaterial bereits an den Schüler ausgeliefert wurde und er in der Vergangenheit erfolgreich darauf zugreifen konnte. Das System kann daher besser als Nutzungskontrolle statt als Zugriffskontrolle verstanden werden.

Daß sich Schüler, im Gegensatz zum normalen WWW, in jedem Fall gegenüber dem System authentisieren müssen, erscheint auf den ersten Blick als eine Einschränkung. Aber die aus dieser Authentisierung resultierende verlässliche Benutzeridentifikation bildet die Grundlage für eine Reihe wünschenswerter Funktionen.

- ▶ **Schlüsselvergabe.** Bei einem Zugriff auf Lernmaterial liefert das Key Center nur dann den für die Entschlüsselung benötigten Schlüssel aus, wenn der Eigentümer des Lernmaterials dem Benutzer das Zugriffsrecht gewährt hat. Diese Überprüfung setzt aber natürlich voraus, daß die Identität des Schülers bekannt ist. Auf diese Weise erhalten nur legitimierte Benutzer Zugriff auf Lernmaterial. Im Gegensatz zum WWW, wo sich die Zugriffskontrolle auf Material beschränkt, das auf dem Server abgelegt ist, und ein Schüler, hat er Lernmaterial einmal erfolgreich heruntergeladen, die volle Kontrolle über dieses Material hat, stellt das hier vorgestellte Konzept (durch die Kombination der Sicherheitsmechanismen) sicher, daß der Eigentümer immer die vollständige Kontrolle über sein Lernmaterial behält. Daher ist dem unberechtigten Zugriff und der illegalen Weitergabe von Lernmaterial ein Riegel vorgeschoben. Daher kann auch vertrauliches Material gefahrlos in den Kursen eingesetzt werden. Welche weiteren Möglichkeiten sich aus dieser permanenten Nutzungskontrolle ergeben, wird gleich noch im Detail erörtert.
- ▶ **Rückverfolgbarkeit der Nutzung von Lernmaterial.** Das Key Center protokolliert alle Schlüsselanfragen. Anhand dieser Aufzeichnungen läßt sich nachvollziehen, welchen Weg ein Lernmaterial genommen hat. Derartige Information ist hilfreich, unter anderem wenn es gilt, Sicherheitslücken aufzuspüren oder bei juristischen Auseinandersetzungen.
- ▶ **Benutzerprofile.** Benutzerprofile sind die Grundlage für benutzerspezifische Kurse und Kurse, deren Verlauf sich dynamisch dem Verhalten des Schülers anpassen. Darüberhinaus sind sie auch Grundlage der Lernerfolgskontrolle. Benutzeraktionen lassen sich aber nur dann einem Benutzer zuordnen, wenn man den Benutzer auch identifizieren kann. Eine der wichtigsten Informationen in einem Benutzerprofil ist die Information, welche Dokumente ein Schüler bereits gesehen bzw. bereits bearbeitet hat. Dies gilt insbesondere für Testmaterial. Mit dem hier vorgestellten Konzept wird jeder Zugriff auf Lernmaterial erkannt und mitprotokolliert. Macht man nun diese Zugriffsprotokolle für die Benutzerprofile verfügbar, dann erhöht das deren Zuverlässigkeit enorm. Dann kann ein Benutzer nicht – auch nicht außerhalb einer Lernsession oder auf einem anderen Rechner – auf Lernmaterial zugreifen, ohne daß es in seinem Benutzerprofil vermerkt wird.
- ▶ **Abrechnung.** Die auf dem Key Center gesammelte Information, welcher Benutzer, wann und wie oft auf welches Material zugegriffen hat, ist in der einen oder anderen Form die Grundlage für jedwede Abrechnung. Seien es die Gebühren für den Schüler oder die Vergütungen für die Autoren. Die Erstellung von Abrechnungen und deren Abwicklung in großem Maßstab erfordert, genauso wie der Betrieb eines Key Centers in einer sicheren Umgebung, technische und personelle Ressourcen in einem Ausmaß, das über dem liegt, was ein kleines oder mittleres Unternehmen aufbringen kann. Hier bietet es sich an, daß ein Internetprovider oder eine Telekommunikationsgesellschaft, die über die notwendigen technischen, personellen und administrativen Ressourcen verfügt, das Key Center betreibt und als Service für seine Kunden, in diesem Fall die Trainingsprovider, die Abrechnung durchführt. Damit könnten dann auch kleine und mittlere Unternehmen als Trainingsanbieter auftreten.

Die Forderung, verwendetes Lernmaterial nicht einzubetten, sondern ausschließlich über Referenzen anzusprechen, bewirkt, daß sich auch sekundäres Urheberrecht einfach handhaben läßt. Damit ist aber sichergestellt, daß sowohl der Autor des zusammengesetzten Materials als auch der des originalen Materials die ihm zustehende Vergütung erhält.

- **Pflege und Qualitätsmanagement.** Die Information, welche Schüler welches Lernmaterial verwenden, ist auch hilfreich für die Pflege und die Qualitätskontrolle des Lernmaterials. Sie kann wertvolle Hinweise darauf geben, wo es Defizite (schlechtes oder fehlendes Lernmaterial) gibt und welches Lernmaterial von besonderem Interesse oder Erfolg ist. Dies zeigt ihm, wo die Bedürfnisse und Interessen der Schüler liegen und gibt wichtige Hinweise für die Planung neuer Kurse oder neuen Materials

Insbesondere für Lernmaterial eröffnet die lebenslange Kontrolle durch den Eigentümer, die sich daraus ergibt, daß das Key Center in jeden Zugriff auf Material involviert ist, einige interessante Möglichkeiten. Diese werden jetzt genauer beschrieben. Die folgenden Betrachtungen gehen der Einfachheit halber davon aus, daß der Trainingsprovider als Eigentümer des Materials agiert, er stellt das Lernmaterial bereit und vergibt und verwaltet die Zugriffsrechte. Allerdings ist er nur im technischen Sinn Eigentümer des Materials; der Trainingsprovider übernimmt auf Basis vertraglicher Regelungen mit den Urhebern stellvertretend die Nutzung und Verwaltung des Lernmaterials.

- **Geschlossene Benutzergruppe.** Durch die entsprechende Vergabe von Zugriffsrechten kann der Trainingsprovider nur ausgewählten Benutzern den Zugriff auf Lernmaterial erlauben. So kann sichergestellt werden, daß nur die Teilnehmer eines Kurses auf das Material für diesen Kurs zugreifen können. Dadurch wird gewährleistet, daß das Lernmaterial nur innerhalb der vom Trainingsprovider vorgegebenen geschlossenen Benutzergruppe verwendet werden kann und Schüler Lernmaterial nicht an unberechtigte Dritte weitergeben können.
- **Zeitbeschränkte Nutzung.** Da die Überprüfung der Zugriffsberechtigung bei jedem Zugriff erfolgt, läßt sich die Benutzung des Lernmaterials auch einfach auf einen bestimmten Zeitraum beschränken. Der Trainingsprovider muß dazu nur zu Beginn des Zeitraums dem Benutzer die Zugriffsrechte gewähren und am Ende des Zeitraums sie dem Benutzer wieder entziehen. Tut er dies, dann erhält der Benutzer nach Ablauf des Zeitraums keine Schlüssel mehr für dieses Material und kann es daher nicht mehr verwenden; auch dann nicht, wenn er das Material vor Ablauf des Zeitraums auf seinen Rechner kopiert hat.
- **Nutzungsabhängige Abrechnung.** Aus den Zugriffsprotokollen des Key Centers läßt sich die für Abrechnungszwecke benötigte Information gewinnen. So kann ein Trainingsprovider feststellen, auf welches Material ein Teilnehmer zugegriffen hat, und ihm die entsprechenden Kosten in Rechnung stellen (pay per use), oder er kann im Fall, daß der Kunde eine große Institution ist, leicht feststellen, ob auch wirklich nur die vereinbarte Anzahl von Nutzern auf das Material zugreift.
- **Wartung.** Soll oder darf ein bestimmtes Lernmaterial nicht länger verwendet werden, sei es, weil sein Inhalt nicht länger zutrifft, es fehlerhaft ist, der Eigentümer dies nicht mehr wünscht, oder aus sonstigen Gründen, dann kann der Trainingsprovider dieses Lernmaterial deaktivieren, womit allen Benutzern die Zugriffsberechtigung entzogen wird. Damit ist dann sichergestellt, daß auch kein Benutzer mehr mit dem Dokument arbeiten kann, auch nicht mit den Kopien, die sich bereits auf den Rechnern der Benutzer befinden. Das heißt, der Trainingsprovider kann sicher sein, daß niemand mehr den falschen bzw. veralteten Inhalt verwendet.
- **Materialauslieferung im voraus.** Die Materialauslieferung über das WWW bietet eine Reihe von Vorteilen. Daher wird die Auslieferung des Lernmaterials auch on-demand über das WWW erfolgen. Allerdings gibt es auch Situationen, in denen man besser einen anderen Weg für die Auslieferung wählt. Lernt man online mit einem WWW-basierten System, dann ist die Netzwerkverbindung ein entscheidender Faktor, sowohl für die Kosten, die mit dem Lernen verbunden sind, als auch für die Performanz und die Darstellungs- und somit auch für die Kursqualität. Über das Netzwerk tauschen der Client und der Server folgende Daten aus: Kontrollinformation für die Kurssteuerung, Schlüssel zum Dechiffrieren und schließlich die Daten für das Lernmaterial selbst. Bei den ersten beiden Kategorien ist die Datenmenge relativ gering, und die Übertragung der Daten verursacht daher keinen nennenswerten Verzögerungen. Das gilt aber nicht für Lernmaterial; insbesondere bei hochqualitativen multimedialen Lernmaterialien hat man es schnell mit Dateien von beachtlicher Größe zu tun, deren Übertragung dann auch einige Zeit in Anspruch nimmt. Die Verwendung einer Netzwerkverbindung mit höherer Bandbreite beschleunigt zwar die Übertragung, bedeutet normalerweise aber auch eine Verteuerung der Kommunikationskosten. Eine ausreichend schnelle Übertragung ist aber nicht nur wichtig wegen der Kosten, sondern auch weil es nur so nicht zu ungewollten Unterbrechungen im Kursfluß kommt, die daraus resultieren, daß der Schüler auf das Ende der Übertragung warten muß. Einen flüssigen Kursverlauf erhält man nur, wenn die durch die Übertragung verursachten Verzögerungen im Bereich von wenigen Sekunden bleiben. Da sich beim Lesen von CD oder Festplatte bedeutend höhere Übertragungsraten realisieren lassen als über das Netzwerk, bietet es sich an, Lernmaterial über CD zu verteilen anstatt über Netzwerk oder es im voraus auf die Festplatte des Schülers zu überspielen. Dann benötigt man zum Lernen zwar weiterhin eine Onlineverbindung zum Kursserver und dem Key Center, aber über diese werden nur die Schlüssel und Kontrollinformationen für die Kurssteuerung übermittelt. Das Material wird von der CD oder der Festplatte geladen. Somit genügt dann eine Verbindung mit geringer Bandbreite. Mit dem vorgestellten Konzept

liegt das Lernmaterial auch auf der CD in verschlüsselter Form vor und unterliegt so der Kontrolle des Eigentümers.

- **Personalisierung.** Welche Kurse ein Schüler belegt, unterscheidet sich in der Regel von Schüler zu Schüler. Bei dynamischen Kursen, kommt es darüber hinaus vor, daß abhängig vom jeweiligen Vorwissen, von Vorlieben, vom Lernerfolg während des Kurses oder aufgrund des vom Schüler eingeschlagenen Wegs durch den Kurs unterschiedliche Schüler sogar beim Bearbeiten des gleichen Kurses unterschiedliches Material präsentiert bekommen. Daher benötigt jeder Schüler auch einen anderen Satz von Lernmaterial. Der Trainingsprovider muß einerseits sicherstellen, daß der Schüler auch auf all sein Material zugreifen kann, andererseits will er aber auch verhindern, daß ein Schüler auf Material zugreifen kann, das nicht für ihn bestimmt ist. Erschwerend kommt hinzu, daß sich auch der Satz Lernmaterial, auf das ein bestimmter Benutzer Zugriff haben soll, im Laufe der Zeit verändern kann. Ein Schüler kann sich für einen weiteren Kurs registrieren und somit Zugang zu weiterem Material erhalten, aber es kann auch vorkommen, daß er den Zugang zu Material verliert. Dies ist insbesondere ein Problem, wenn das Material über CD-ROM verteilt werden soll, denn kein Trainingsprovider verfügt über die Ressourcen, für jeden Schüler eine individuelle CD zu erstellen und jedes Mal eine weitere CD-ROM zu erstellen, wenn der Schüler Zugang zu weiterem Material erhält. Schon gar nicht kann er CD-ROMs zurückholen, wenn der Schüler die Zugangsberechtigung verliert. Durch die Möglichkeit, am Key Center einem Benutzer individuell und dynamisch Zugriffsrechte auf bestimmtes Material einräumen und sie ihm auch wieder entziehen zu können, ist die Personalisierung von Kursen im gutem Umfang gewährleistet. Ein Schüler kann ja nur dann auf Material zugreifen, wenn er sowohl das Material hat als auch die zugehörigen Schlüssel zugeteilt bekommt. Damit kann jedem Benutzer alles Material in verschlüsselter Form zugänglich gemacht werden, z.B. auf einer CD-ROM mit allem Material. Auf welches Material er aber zugreifen kann, wird zu jeder Zeit durch die ihm eingeräumten Zugriffsrechte festgelegt.

Bei obigen Betrachtungen handelt es sich bei den Dokumenten im wesentlichen um Multimediadokumente (wie HTML, Bilder, Video, Audio etc.). Aber im Fall von Simulatoren kann ein Lernmaterial durchaus auch ein ablauffähiges Programm sein. In dem hier vorgestellten Umsetzungskonzept läßt sich ein Programm-Code wie ein 'normales' Dokument automatisch ver- und entschlüsseln.

Auswertung des Nutzungsprotokolls

Die Encryption-Enforcement-Komponente erkennt und protokolliert jeden Zugriff auf Lernmaterial, aber kann nicht unterscheiden, ob der Zugriff wirklich einer Nutzung durch den Anwender entspricht oder ob der Zugriff zwar im Namen des Anwenders erfolgt, aber diesem gar nicht bewußt ist, z.B. weil eine Systemkomponente, wie etwa ein Backup-Werkzeug, eine Indexerzeugung oder ein Dateiauswahldialog lesend auf das Lernmaterial zugreift. Für Sicherheitszwecke ist es das korrekte Vorgehen, jeden Zugriff abzufangen, denn nur so läßt sich verhindern, daß ein Benutzer unbemerkt auf Material zugreifen kann.

Das Nutzungsprotokoll gibt daher die Vorgänge auf der technischen Ebene wieder. Will man aus den Einträgen Information über die Aktionen eines Schülers gewinnen, dann wäre eine höhere Abstraktionsebene wünschenswert. Wenn ein Schüler ein Lernmaterial verwendet (ein logischer Zugriff), dann kann das dazu führen, daß auf Programm- bzw. Betriebssystemebene mehrmals auf die Datei zugegriffen wird. Einem logischen Zugriff entsprechen dann mehrere technischen Zugriffe. Das Nutzungsprotokoll hält die technischen Zugriffe fest. Für Abrechnungszwecke bzw. die Analyse der Benutzeraktionen wäre man aber an den logischen Zugriffen interessiert. Diese Information ist allerdings in dieser Form nicht im Nutzungsprofil enthalten.

Um die Interpretation der Daten aus dem Nutzungsprotokoll zu vereinfachen, ist zu vermeiden, daß 'irrelevante' Einträge überhaupt erzeugt werden. Wenn Installation und Backup von Lernmaterial ausschließlich unter einem besonderen Administratoraccount¹ durchgeführt werden, dann finden sich im Nutzungsprotokoll eines Schülers keine Zugriffe, die von derartigen Aktionen herrühren, sondern nur solche, die von einer tatsächlichen Nutzung herrühren.

Eine andere Methode Einträge im Protokoll zu vermeiden ist, mit deaktivierter Encryption-Enforcement-Komponente auf die Dateien zuzugreifen. Da der Nutzer dann nur Zugriff auf die verschlüsselten Daten hat, gefährdet das nicht die Sicherheit. Ein Schüler könnte so Lernmaterial vor der ersten Nutzung an seinen Bestimmungsort im Dateisystem kopieren. Würde er dies mit aktivierter Komponente tun, würde es sich im Nutzungsprotokoll so darstellen, als ob er alles Lernmaterial verwendet hätte. Die Gefahr bei dieser Methode ist, daß er das Lernmaterial unbrauchbar macht, wenn der Benutzer die verschlüsselten Daten dabei verändert.

1. Natürlich ist dabei zu verhindern, daß ein Schüler Lernmaterial unter diesem Administratoraccount nutzen kann.

Man kann auch versuchen, aus den technischen Zugriffen wieder auf die logischen Zugriffe zu extrahieren. Dazu muß man Heuristiken verwenden. So könnte man z.B. alle Zugriffe von einem Benutzer auf ein Material, die innerhalb eines Zeitfensters erfolgen, zu einem (logischen) Zugriff zusammenfassen. Wo die Probleme bei diesem Ansatz liegen, erkennt man, wenn man sich fragt, wie groß man das Zeitfenster wählen soll. Die Größe des richtigen Zeitfensters hängt unter anderem ab von der Art der Materials (Video oder Rasterbild). Aber auch, wenn Ergebnisse derartiger Analysen mit Vorsicht zu genießen sind, für bestimmte Anwendungszwecke können sie durchaus ausreichend sein, etwa für Abrechnungszwecke. Generell muß man bei der Analyse des Nutzungsprotokolls ein gewisses Maß an Unschärfe zulassen.

Bei der Verwendung eines Lernsystems bietet es sich an, die Informationen aus dem Nutzungsprotokoll mit den Aufzeichnungen des Lernsystems zu vergleichen. Gibt es Unstimmigkeiten zwischen beiden, dann könnte dies ein Hinweis auf Manipulationen sein. Etwa, wenn das Nutzungsprotokoll zeigt, daß von dem Schüler auf Lernmaterial zugegriffen wurde, das er laut den Aufzeichnungen des Lernsystems noch nicht verwendet hat.

7.3 Zusammenfassung

Bei der Vorstellung der grundlegenden Lösungsansätze wurde gezeigt, daß sich mit den existierenden Authentisierungsverfahren die Authentizität von Benutzeraktionen nicht in dem gewünschten Maß sicherstellen läßt. Es wurden Vorgehensweisen aufgezeigt, mit denen sich dennoch ein hinreichendes Maß an Sicherheit gewährleisten läßt.

Es wurde ein Konzept für eine sichere Lernumgebung vorgestellt, in der Lernmaterial mit vertraulichen Inhalten gefahrlos eingesetzt werden kann. Dabei wird durch eine obligatorische Verschlüsselung (Encryption-Enforcement), die benutzer- und dokumentspezifisch ist, verhindert, daß unbefugt auf Lernmaterial zugegriffen werden kann. Dieser Mechanismus unterbindet auch die unberechtigte Weitergabe von Lernmaterial. Der Kernpunkt ist dabei, daß der Mechanismus erzwingt, daß bei jedem Zugriff die Schlüssel zum Entschlüsseln von einer zentralen, vertrauenswürdigen Instanz (Key Center) erfragt werden müssen. Dadurch wird die Kontrolle des Inhabers des Urheberrechts auch auf die gesamte Lebensdauer von Lernmaterial ausgeweitet und endet nicht mit der Auslieferung des Lernmaterials an den Schüler. Eine wichtige Voraussetzung für dieses Verfahren ist die Integrität der Verschlüsselungskomponente. Diese muß auf dem Clientrechner installiert sein und zwar in einer Art und Weise, daß sie vor Manipulationen von Seiten der Schüler geschützt ist. Für die Realisierung der Sicherheit ist es ausreichend, wenn man dem Administrator vertrauen kann, der die Verschlüsselungskomponente installiert. Das Konzept erfordert nicht, daß man auch dem Schüler vertrauen muß. Für den Schutz des Urheberrechts in der analogen Domäne sieht das Konzept ein Verfahren vor, das auf dem automatischen Einbringen von Wasserzeichen beruht.

Wie im Abschnitt „2.5 Das WWW als Realisierungsplattform“ im Detail dargelegt, eignet sich das WWW sehr gut als Basistechnologie für Computer-unterstütztes Lernen, da es alle elementaren Grundfunktionalitäten in den Bereichen Multimedia, Kommunikation und Kooperation zur Verfügung stellt, die zur Wissensvermittlung benötigt werden. Infolgedessen hat sich das WWW auch in den letzten Jahren als die wichtigste Plattform für Computer-basiertes Lernen etabliert. Der nächste logische Schritt nach der Realisierung der Wissensvermittlung durch den Einsatz von multimedialen und interaktiven Lernmaterialien ist die Integration der Lernerfolgskontrolle. Dabei zeigt sich jedoch, daß das WWW die Anforderungen bezüglich Interaktivität, Genauigkeit, Verlässlichkeit und Sicherheit nicht in dem Maße erfüllen kann, wie es für eine verlässliche Lernerfolgskontrolle notwendig ist. In diesem Kapitel wird aufgezeigt, wie sich auch in WWW-basierten Lernumgebungen eine sichere Lernerfolgskontrolle realisieren läßt.

8.1 Lernerfolgskontrolle

Spricht man von Lernerfolgskontrolle, dann setzt man das oft gleich mit Tests, deren einzige Aufgabe das Überprüfen des Wissen bzw. des Lernerfolges ist. Ein typisches Beispiel - insbesondere im WWW-basierten Lernen - hierfür sind Multiple-Choice-Tests. Diese Testform ist sicherlich eine wertvolle Form von Lernerfolgskontrolle; nur ist sie nicht die einzig mögliche Form. Die nachfolgende Definition zeigt das allgemeinere Verständnis des Begriffes Lernerfolgskontrolle, das dieser Arbeit zugrunde liegt.

Definition 22: *Unter Lernerfolgskontrolle versteht man (zeitlich begrenzte) Maßnahmen, die es erlauben, den Lernerfolg eines Schülers bezüglich eines bestimmten Lernziels zu quantifizieren.*

Maßnahmen zur Lernkontrolle werden auch als Tests bezeichnet. Der Begriff Test impliziert jedoch oft auch, daß die Lernerfolgskontrolle als eigenständiger Schritt durchgeführt wird. Definition 22 beinhaltet jedoch auch solche Formen der Lernerfolgskontrolle, die nicht in einer eigenen Phase erfolgen, sondern in die Wissensvermittlungsphase bzw. Übungsphase integriert werden können. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn interaktive Inhalte (Microworlds oder Simulationen) dazu verwendet werden, dem Schüler neues Wissen zu vermitteln bzw. ihm Gelegenheit zu geben, sein neuerworbenes Wissen anzuwenden und so zu festigen. Da dieses Lernmaterial auf Aktionen des Schülers reagieren soll, muß es dessen Aktionen auch interpretieren. Ausgehend von der dabei gewonnenen Information lassen sich Rückschlüsse auf den aktuellen Wissenstand und somit den Lernerfolg eines Schülers ziehen. Werden diese Erkenntnisse bereits während des Lernens/Übens ermittelt und müssen nicht erst in einer abschließenden Testphase ermittelt werden, dann spiegeln die Ergebnisse der Lernerfolgskontrolle nicht nur das Ergebnis nach Beendigung des Lernprozesses wieder sondern die gesamte Entwicklung des Lernens. Das ermöglicht das frühzeitige Erkennen von Problemen seitens des Schülers und das Einleiten entsprechender Maßnahmen. Im Idealfall kann bei einer derartigen Vorgehensweise sogar ganz auf explizite abschließende Tests verzichtet werden.

Folgerichtig ist das Ziel dieser Art von Lernerfolgskontrolle auch nicht in erster Linie die Bewertung von Studenten für eine Art von Zertifizierung sondern die Verfügbarmachung von Feedback über den Lernerfolg, der vom Lehrer oder einem Lernsystem oder gar dem Schüler selbst zur Anpassung des Kurses verwendet werden kann und somit der Verbesserung der Lernqualität dient. Aber auch für diese Form der Lernerfolgskontrolle genügt das WWW nicht den Anforderungen hinsichtlich Interaktivität, Genauigkeit, Verlässlichkeit und Sicherheit.

8.2 Vorteile der WWW-basierten Lernkontrolle

Zunächst soll anhand einiger Abschätzungen ermittelt werden, unter welchen Umständen der Aufwand für WWW-basiertes Testen geringer ist als der für herkömmliche, nicht WWW-basierte Testformen. Danach werden die sonstigen Vorteile erläutert, die mit WWW-basiertem Testen verbunden sind.

8.2.1 Aufwandsabschätzung

Im Bereich Aus- und Weiterbildung ist der bestimmende Faktor für die Kosten der zeitliche Aufwand, den ein menschlicher Lehrer, Tutor oder Autor für die Lernerfolgskontrolle aufwenden muß. Dieser Aufwand ergibt sich als die Summe aus den folgenden drei Komponenten: Kosten für die Erstellung des Testmaterials, Kosten für die Durchführung und Kosten für die Auswertung des Test. Diese Betrachtungsweise orientiert sich stark an dem Testmaterial. Die Planung des Tests (Festlegung der zu testenden Themen und Bewertungsmaßstab) wird dabei nicht als Testaufwand betrachtet sondern als Bestandteil der allgemeinen Kursplanung. Betrachtet

man die unterschiedlichen Formen der Lernkontrolle, so kann man den benötigten Aufwand wie in Tabelle 18 „Aufwand Lehrer für n Tests“ dargestellt abschätzen.

Testform	Aufwand			Gesamtaufwand
	Erstellung	Durchführung	Bewertung	
Mündliche Prüfung ^a	0	$d \cdot n$	0	O(n)
Hausaufgaben ^b	E_p	0	$B \cdot n$	O(n)
Schriftliche Klausur	E_p	$d \cdot \lceil n/k \rceil$	$B \cdot n$	O(n)
WWW-basiert, semi-automatisch ^c	E_s	0	$B \cdot n$	O(n)
WWW-basiert, vollautomatisch ^d	E_w	0	0	O(0)

Legende:

E_p : Zeit nötig zur Erstellung eines schriftlichen Tests

E_s : Zeit nötig zur Erstellung eines semi-automatischen WWW-basierten Tests

E_w : Zeit nötig zur Erstellung eines vollautomatischen WWW-basierten Tests

n : Anzahl der Tests

d : Zeit nötig zur Ausführung eines Tests

k : Durchschnittliche Anzahl der zu testenden Kandidaten pro Klausur

B : Zeit nötig zur Bewertung eines Tests

Tabelle 18. Aufwand Lehrer für n Tests

- Die Lernerfolgskontrolle erfolgt in einem persönlichen Schüler-Lehrer-Gespräch.
- Für Lernerfolgskontrolle sind nur bewertete Hausaufgaben relevant.
- Die Testdurchführung erfolgt automatisch, aber die Testauswertung wird von einem menschlichem Tutor vorgenommen.
- Sowohl die Testdurchführung als auch die Testauswertung erfolgen automatisch.

Die Aufwandsabschätzung in Tabelle 18 belegt die Effizienz des vollautomatischen WWW-basierten Testens. Der für diese Testform benötigte Aufwand ist konstant und damit unabhängig von der Anzahl der Tests. Bei allen anderen Testformen steigt der Aufwand linear mit der Anzahl der Tests. Die O -Notation spiegelt die Situation allerdings nur für große Zahlen akkurat wieder. Im Bereich Aus- und Weiterbildung ist aber auch die Situation bei einer geringen oder mittleren Anzahl von Tests von Interesse. In diesem Bereichen sind jedoch die konstanten Anteile, die bei der O -Notation vernachlässigt werden, durchaus von Bedeutung. Die folgenden Näherungen stellen die Aufwände für die einzelnen Lernformen zutreffender dar.

Für die weiteren Abschätzungen soll angenommen werden, daß der Aufwand für die Erstellung von Testmaterial und der für die Bewertung des Tests, direkt proportional zu der Dauer des Test ist. Die Konstanten e_p , e_s und e_w repräsentieren den fixen Aufwand, der nötig ist, um Material für eine fest vorgegebene Einheitstestdauer d zu realisieren. Analog dazu repräsentiert b den festen Aufwand zur Auswertung eines Test mit der Einheitstestdauer. Es wird angenommen, daß die Auswertung unabhängig von der Testform ist. Damit ergibt sich dann als Erstellungsaufwand:

$$E_p = e_p \cdot d$$

$$E_s = e_s \cdot d$$

$$E_w = e_w \cdot d$$

$$B = b \cdot d$$

(GL 9)

Tabelle 19 zeigt die Näherungen für die Gesamtaufwände $A_i(n)$ der unterschiedlichen Testformen. Diese Gesamtaufwände ergeben sich als Summe der in Tabelle 18 aufgeführten Aufwände für die Erstellung, Durchführung und Auswertung der jeweiligen Testform.

Diese Tabelle enthält auch eine Abschätzung für den Aufwand bei der Wiederverwendung eines Test. Das Maß für den Wiederverwendungsaufwand läßt sich definieren als

$$W_i(n, x) = \frac{A_i(n+x) - A_i(n)}{d}$$

(GL 10)

Testform	Aufwand	Wiederverwendungsfaktor
Mündliche Prüfung	$A_M(n) = d \cdot n$	$w_M = 1$
Hausaufgaben	$A_H(n) = e_p \cdot d + b \cdot d \cdot n$ $A_H(n) = d \cdot (e_p + b \cdot n)$	$w_M = b$
Schriftliche Klausur	$A_K(n) = e_p \cdot d + d \cdot \left\lceil \frac{n}{k} \right\rceil + b \cdot d \cdot n$ Für diese Betrachtungen ist folgende Näherung hinreichend: $A_K(n) = e_p \cdot d + \frac{n}{k} \cdot d + b \cdot d \cdot n$ $= d \cdot \left(e_p + \left(\frac{1}{k} + b \right) \cdot n \right)$	$w_M = \frac{1}{k} + b$
WWW basiert, semi-automatisch	$A_S(n) = e_s \cdot d + b \cdot d \cdot n$ $A_S(n) = d \cdot (e_s + b \cdot n)$	$w_M = b$
WWW basiert, vollautomatisch	$A_W(n) = d \cdot e_w$	$w_M = 0$

Tabelle 19. Aufwandsnäherungen

und gibt den Aufwand an, der investiert werden muß, wenn noch x weitere Tests ausgeführt werden, nachdem bereits n Tests durchgeführt wurden. Die Normierung bezüglich der Ausführungszeit d bewirkt, daß dieses Maß unabhängig von der jeweiligen Dauer eines Test wird und somit spezifisch für die Testform ist. Da n in allen Aufwandsnäherungen nur maximal linear eingeht, läßt sich $A_i(n)$ allgemein darstellen in der Form $A_i(n) = a_i \cdot n + c_i$. Damit ergibt sich:

$$W_i(n, x) = \frac{A_i(n+x) - A_i(n)}{d} = \frac{(a_i \cdot (n+x) + c_i) - (a_i \cdot n + c_i)}{d} = \frac{a_i}{d} \cdot x \quad (\text{GL 11})$$

Der Wiederverwertungsaufwand stellt sich somit immer als eine lineare Funktion durch den Ursprung dar. Die Steigung dieser Geraden ist dann eine eindeutige Maßzahl für die Wiederverwendbarkeit einer Testform. Diese Maßzahl wird bezeichnet als der *Wiederverwendungsfaktor*. Je größer dieser Wert ist, desto größer der Aufwand für die Wiederverwendung dieser Testform. Ein Wiederverwendungsfaktor von 1 bedeutet, daß die Wiederverwendung eines Tests denselben Aufwand wie die erstmalige Durchführung des Tests verursacht.

$$\text{Wiederverwendungsfaktor: } w_i = \frac{a_i}{d} \quad (\text{GL 12})$$

Bevor weitere Abschätzungen oder Folgerungen aus diesen Formeln hergeleitet werden, sollen die Näherungen anhand eines Zahlenbeispiels illustriert werden. Für papierbasierte Tests soll angenommen werden, daß für die Erstellung eines Tests das Zehnfache der Ausführungszeit investiert werden muß. Die Erstellung von WWW-basierten Tests ist aufgrund der größeren technischen Möglichkeiten und der daraus resultierenden komplexeren Datenformate noch aufwendiger. In der Praxis gilt die Faustregel, daß für die Erstellung einer Stunde qualitativ hochwertigen Testmaterials im Mittel um die 100 Mannstunden veranschlagt werden müssen. Der Aufwand für die Bewertung eines Tests soll mit einem Viertel der Ausführungszeit veranschlagt werden. Also:

$$\begin{aligned} e_p &\approx 10 \\ e_s &\approx 60 \\ e_w &\approx 100 \\ b &\approx 0,25 \end{aligned} \quad (\text{GL 13})$$

Abbildung 51 zeigt die Kostenfunktionen für die unterschiedlichen Testformen, für $k = 25$. Abbildung 52 auf Seite 145 zeigt einen Vergleich der unterschiedlichen Testformen für $d = 1$ und $k = 25$.

Die Werte aus diesem Zahlenbeispiel muß man mit Vorsicht betrachten. Dennoch veranschaulichen sie interessante Folgerungen, die sich aus den Näherungen ableiten lassen.

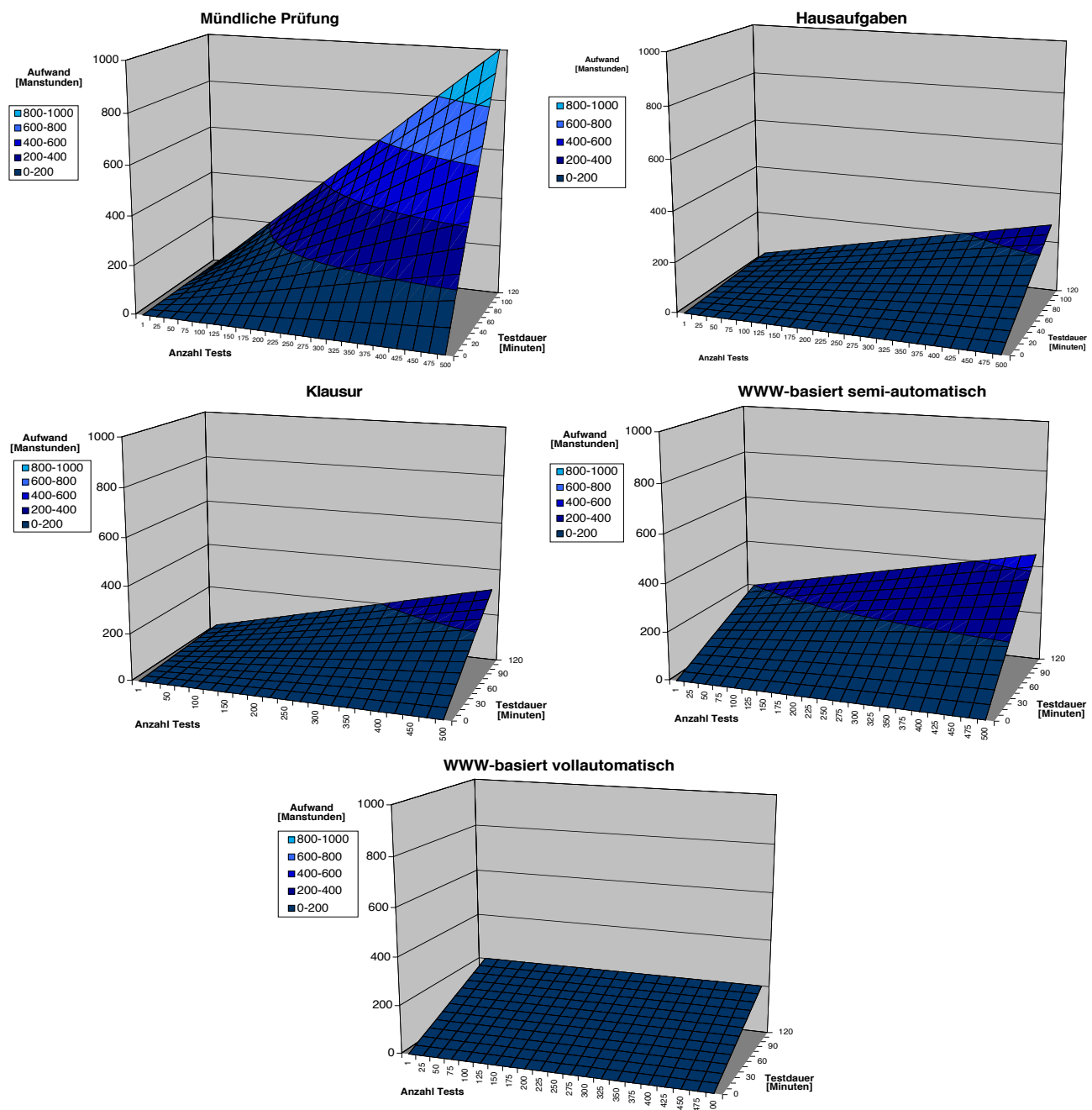


Abbildung 51. Aufwandsabschätzungen für die unterschiedlichen Testformen

Für eine kleine Zahl von Tests sind mündliche Prüfungen am effizientesten, da für diese kein Testmaterial erstellt werden muß. Wegen ihres Realzeitcharakters steigen die Kosten linear mit der Testdauer (Wiederverwendungs-faktor 1). Ausgehend von der, durchaus vernünftigen, Voraussetzung, daß für die Korrektur eines Tests signifikant weniger Zeit benötigt wird als für dessen Durchführung, also $b < 1$, ist die Steigung der Kosten für alle anderen Testformen geringer als die der mündlichen Prüfung. Somit werden mündliche Prüfungen hinsichtlich ihres Aufwandes immer ungünstiger, je mehr Tests durchgeführt werden und je länger ein Test dauert. Dieser übermäßige Kostenanstieg für mündliche Prüfungen im Vergleich zu anderen Formen des Test läßt sich in Abbildung 51 erkennen. In den Abbildungen läßt sich auch gut der hohe initiale Aufwand für die WWW-basierten Testformen erkennen, der aus den hohen Erstellungskosten für WWW-basiertes Material resultiert. Dies macht die WWW-basierten Testformen zu ungünstigen Alternativen, wenn nur eine geringe Anzahl von Tests durchzuführen sind. Auch die papierbasierten Testformen erfordern im Gegensatz zu den mündlichen Prüfungen einen initialen Aufwand. Da dieser aber um ein Beträchtliches kleiner ist als der für die WWW-basierten Testformen, sind die papierbasierten Testformen anfangs günstiger als die WWW-basierten Testformen.

Betrachtet man allerdings die Situation bei großen Zahlen, dann nimmt mit steigender Testanzahl die Bedeutung des Initialaufwands ab, und der Wiederverwendungs-faktor wird der entscheidende Faktor. Graphisch

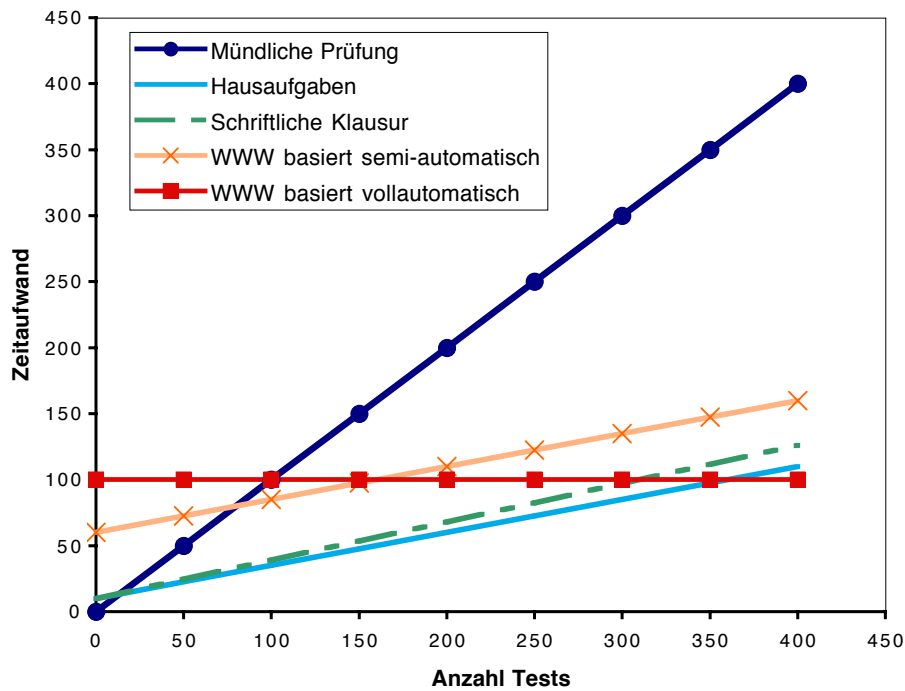


Abbildung 52. Vergleich Aufwände der unterschiedlichen Testformen

gesehen entspricht der Wiederverwendungsfaktor der mit der Testdauer d normierten Steigung der Kostenfunktion. Betrachtet man die in Tabelle 19 gegebenen Formeln für die Wiederverwendungsfaktoren der verschiedenen Testformen, erkennt man, daß das vollautomatische WWW-basierte Testen in dieser Hinsicht am günstigsten ist. Da außer den initialen Kosten für die Erstellung des Materials keine weiteren Kosten anfallen, sind die Kosten für das vollautomatische WWW-basierte Testen unabhängig von der Anzahl der Tests, d.h. die Kosten sind konstant. Damit ist ab einem bestimmten Grenzwert das vollautomatische WWW-basierte Testen immer die günstigste Testform. Nimmt man weiterhin an, daß gilt $b < 1$, dann sind Hausaufgaben und schriftliche Prüfungen die Testformen mit dem zweitniedrigsten Wiederverwendungsfaktor. In Abbildung 52 zeigt sich ihr Aufwand daher als ein Paar paralleler Geraden. Das bedeutet aber auch, daß der Aufwand für semi-automatisches WWW-basiertes Testen immer um einen konstanten Betrag größer ist als der für das Testen mittels Hausaufgaben. Weiterhin gilt, daß der Aufwand für semi-automatisches WWW-basiertes Testen auch immer größer ist als der für das vollautomatische WWW-basierte Testen. Das folgt direkt aus der Tatsache, daß der initiale Aufwand für beide Formen des WWW-basierten Testens identisch ist, aber im Gegensatz zur vollautomatischen Variante, bei der kein weiterer Aufwand hinzukommt, beim semi-automatischen WWW-basierten Testen noch der Korrekturaufwand anfällt. Der Wiederverwendungsfaktor für schriftliche Klausuren unterscheidet sich durch eine zusätzliche additive Komponente, von denen für das semi-automatisches WWW-basierte Testen und die Hausaufgaben. Das ist der Aufwand, den der Lehrer/Tutor in die Beaufsichtigung der Tests investieren muß. Da der initiale Aufwand für eine Klausur identisch zu dem einer Hausaufgabe ist, ist somit auch der Aufwand für schriftliche Klausuren immer größer als der für eine Hausaufgabe. Bei entsprechender Wahl von k und b , z.B. $k = 1$ kann es durchaus vorkommen, daß der Aufwand für eine Klausur höher ist als der für eine mündliche Prüfung.

Um abzuschätzen, welche Testform für welche Anzahl von Tests am günstigsten ist, berechnet man die Schnittpunkte der Graphen in Abbildung 52.

Um zu bestimmen, wann mündliche Prüfungen weniger aufwendig sind als Hausaufgaben, muß die folgende Ungleichung gelöst werden:

$$\begin{aligned}
 A_M(n) &< A_H(n) \\
 d \cdot n &< d \cdot (e_p + b \cdot n) \\
 n &< e_p + b \cdot n \\
 n \cdot (1 - b) &< e_p
 \end{aligned}
 \tag{GL 14}$$

Dazu muß in Abhängigkeit von b eine Fallunterscheidung vorgenommen werden. In allen Fällen gilt: $0 < e_p$

Für $b > 1$ ergibt sich:

$$\frac{e_p}{1-b} < n \quad (\text{GL 15})$$

Wegen $0 < e_p$ und $b > 1$ gilt aber auch $\frac{e_p}{1-b} < 0$, und da für die Schätzungen nur positive n von Interesse sind, kann man anstelle von Gleichung 15 auch schreiben:

$$0 < n \quad (\text{GL 16})$$

Für $b = 1$ gilt:

$$0 < e_p \quad (\text{GL 17})$$

Da e_p positiv ist, gilt dies für alle n .

Für $b < 1$ ergibt sich:

$$n < \frac{e_p}{1-b} \quad (\text{GL 18})$$

Da sich der Aufwand für semi-automatisches WWW-basiertes Testen nur dadurch von dem Aufwand für Hausaufgaben unterscheidet, daß anstelle der Konstanten e_p die Konstante e_s vorkommt, ergibt sich analog zu den soeben angestellten Berechnungen für den Vergleich mündliche Prüfung versus semi-automatisches WWW-basiertes Testen:

Für $b > 1$:

$$0 < n \quad (\text{GL 19})$$

Für $b = 1$:

$$0 < e_s \quad (\text{GL 20})$$

Für $b < 1$:

$$n < \frac{e_s}{1-b} \quad (\text{GL 21})$$

Die Berechnung für mündliche Prüfungen im Vergleich mit schriftlichen Prüfungen gestaltet sich wegen der zusätzlichen Abhängigkeit von k etwas komplexer.

$$A_M(n) < A_K(n)$$

$$d \cdot n < d \cdot \left(e_p + \left(\frac{1}{k} + b \right) \cdot n \right)$$

$$n < e_p + \left(\frac{1}{k} + b \right) \cdot n$$

$$n \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{k} + b \right) \right) < e_p \quad (\text{GL 22})$$

Wieder muß zwischen drei Fällen unterschieden werden. Für $\frac{1}{k} + b > 1$ gilt:

$$\frac{e_p}{1 - \left(\frac{1}{k} + b \right)} < n \quad (\text{GL 23})$$

Wegen $0 < e_p$ und $\frac{1}{k} + b > 1$ gilt aber $\frac{e_p}{1 - \left(\frac{1}{k} + b \right)} < 0$, und somit gilt die Ungleichung

auch für:

$$0 < n \quad (\text{GL 24})$$

Für $\frac{1}{k} + b = 1$ gilt:

$$0 < e_p \quad (\text{GL 25})$$

Da e_p positiv ist, ist diese Ungleichung immer wahr, d.h. es gilt für alle n .

Für $\frac{1}{k} + b < 1$ ergibt sich:

$$n < \frac{e_p}{1 - \left(\frac{1}{k} + b\right)} \quad (\text{GL 26})$$

Der Vergleich mündliche Prüfung zu vollautomatischem WWW-basiertem Testen berechnet sich dann wie folgt:

$$\begin{aligned} A_M(n) &< A_W(n) \\ d \cdot n &< d \cdot e_w \\ n &< e_w \end{aligned} \quad (\text{GL 27})$$

Als Nächstes wird der Aufwand für Hausaufgaben mit dem für schriftlichen Klausuren verglichen und dann mit dem für die beiden WWW-basierten Varianten.

$$\begin{aligned} A_H(n) &< A_K(n) \\ d \cdot (e_p + b \cdot n) &< d \cdot \left(e_p + \left(\frac{1}{k} + b\right) \cdot n\right) \\ 0 &< \frac{1}{k} \cdot n \end{aligned} \quad (\text{GL 28})$$

Da k eine natürliche Zahl ist gilt:

$$0 < n \quad (\text{GL 29})$$

Vergleich Hausaufgaben mit semi-automatischen WWW-basierten Tests:

$$\begin{aligned} A_H(n) &< A_S(n) \\ d \cdot (e_p + b \cdot n) &< d \cdot (e_s + b \cdot n) \\ e_p &< e_s \end{aligned} \quad (\text{GL 30})$$

Da $e_p < e_s$ eine der Grundannahmen ist, ist die Ungleichung immer wahr.

Vergleich Hausaufgaben mit vollautomatischem WWW-basiertem Testen:

$$\begin{aligned} A_H(n) &< A_W(n) \\ d \cdot (e_p + b \cdot n) &< d \cdot e_s \\ e_p + b \cdot n &< e_s \\ n &< \frac{e_s - e_p}{b} \end{aligned} \quad (\text{GL 31})$$

Vergleich schriftliche Klausur mit semi-automatischem WWW-basiertem Testen:

$$\begin{aligned} A_K(n) &< A_S(n) \\ d \cdot \left(e_p + \left(\frac{1}{k} + b\right) \cdot n\right) &< d \cdot (e_s + b \cdot n) \\ e_p + \left(\frac{1}{k} + b\right) \cdot n &< e_s + b \cdot n \\ \frac{1}{k} \cdot n &< e_s - e_p \\ n &< k \cdot (e_s - e_p) \end{aligned} \quad (\text{GL 32})$$

Vergleich schriftliche Klausur mit vollautomatischem WWW-basierten Testen:

$$\begin{aligned}
 A_K(n) &< A_w(n) \\
 d \cdot \left(e_p + \left(\frac{1}{k} + b \right) \cdot n \right) &< d \cdot e_w \\
 \left(\frac{1}{k} + b \right) \cdot n &< e_w - e_p
 \end{aligned}
 \tag{GL 33}$$

Da k eine natürliche Zahl ist und $b > 0$, gilt auch $\frac{1}{k} + b > 0$, und damit ergibt sich:

$$n < \frac{e_w - e_p}{\frac{1}{k} + b}
 \tag{GL 34}$$

Vergleich semi-automatische WWW-basierte Tests mit vollautomatischen WWW-basierten Tests:

$$\begin{aligned}
 A_S(n) &< A_w(n) \\
 d \cdot (e_s + b \cdot n) &< d \cdot e_w \\
 b \cdot n &< e_w - e_s \\
 n &< \frac{e_w - e_s}{b}
 \end{aligned}
 \tag{GL 35}$$

Der Wert $e_w - e_s$ entspricht im wesentlichen dem Aufwand für die Realisierung der Bewertung des Tests. Wann semi-automatische WWW-basierte Tests günstiger sind als vollautomatische WWW-basierte Tests, ergibt sich nach dieser Formel aus dem Verhältnis der Aufwände für die Bewertung. Aus der Tatsache, daß $(e_w - e_s)/b$ ein konstanter Wert ist, folgt aber auch, daß semi-automatisches WWW-basiertes Testen nur unterhalb eines Grenzwerts günstiger ist. Überschreitet man diesen Grenzwert, dann wird das vollautomatische WWW-basierte Testen günstiger.

Die folgende Tabelle faßt alle Aufwandsvergleiche zusammen. Die Einträge in den Feldern oberhalb der Diagonale geben an, wann der Aufwand $A_j > A_i$ ist. Die Tabelle beschränkt sich dabei auf den für die Praxis relevanten Bereich $b < 1$ bzw. $1/k + b < 1$. Die Felder unterhalb der Diagonale, mit Ausnahme der letzten Zeile, enthalten konkrete Zahlenwerte, ab welchen Werten von n $A_i > A_j$ gilt. Diese Werte basieren auf denselben Ausgangswerten wie Abbildung 52. Die letzte Zeile gibt dann den Bereich an, für den Testform i am günstigsten ist - wiederum für die Ausgangswerte wie in Abbildung 52.

Da sich die Testdauer d und die Faktoren, die für den Aufwand zur Erstellung und Auswertung des Tests (e_p , e_s , e_w und b) relevant sind mehr oder weniger direkt aus dem Test selbst ergeben und der Tester in der Regel auch keinen Einfluß auf die Anzahl der Testkandidaten (pro Prüfung k und insgesamt n) hat, kann er den Testaufwand lediglich durch die Wahl der Testform beeinflussen.

Diese Aufwandsbetrachtungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Welche Testform die günstigste ist, ist unabhängig von der Dauer des Tests.
2. Schriftliche Klausuren und semiautomatische WWW-basierte Tests sind immer aufwendiger als Hausaufgaben.
3. Falls der Aufwand für die Korrektur größer ist als der Aufwand für die Testdurchführung ($b < 1$), dann sind Hausaufgaben und semi-automatisches WWW-basiertes Testen immer ungünstiger als mündliche Prüfungen. Ist der Aufwand jedoch kleiner, werden ab einer bestimmten Anzahl n Hausaufgaben und semi-automatisches WWW-basiertes Testen günstiger als mündliche Prüfungen.
4. Der Aufwand für semi-automatisches WWW-basiertes Testen ist immer um einen konstanten Wert ($e_w - e_p$) höher als der für Hausaufgaben.
5. Falls der Korrekturaufwand zu groß und die Anzahl der Prüflinge pro Klausur zu klein wird ($1/k + b > 1$), dann sind schriftliche Klausuren ungünstiger als mündliche Prüfungen. Anderenfalls sind schriftliche Prüfungen ab einer bestimmten Anzahl günstiger als mündliche Prüfungen.
6. Für kleine Zahlen ist die mündliche Prüfung immer die kostengünstigste Variante.
7. Ab einer gewissen Anzahl von Tests ist das vollautomatische WWW-basierte Testen immer die günstigste Testform.

		i				
		Mündliche Prüfung	Hausaufgaben	Schriftliche Klausur	WWW-basiert semi-automatisch	WWW-basiert vollautomatisch
j	Mündliche Prüfung		$n < \frac{e_p}{1-b}$	$n < \frac{e_p}{1 - \left(\frac{1}{k} + b\right)}$	$n < \frac{e_w}{1-b}$	$n < e_w$
	Hausaufgaben	$n \leq 13$		$0 < n$	$\forall n$	$n < \frac{e_w - e_p}{b}$
	Schriftliche Klausur	$n \leq 14$	$\forall n$		$n < k \cdot (e_s - e_p)$	$n < \frac{e_w - e_p}{\frac{1}{k} + b}$
	WWW-basiert semi-automatisch	$n \leq 133$	$\forall n$	$n < 1250$		$n < \frac{e_w - e_s}{b}$
	WWW-basiert vollautomatisch	$n < 100$	$n < 360$	$n \leq 310$	$n < 160$	
Bereich in dem Testform i am günstigsten ist.		$1 \leq n \leq 13$	$14 \leq n < 360$	\emptyset	\emptyset	$n \geq 360$

Tabelle 20. Vergleich Testformen

Bei diesen Aufwandsabschätzungen wurde implizit vorausgesetzt, daß alle Testformen austauschbar sind, d.h. derselbe Test kann gleichermaßen als mündliche Prüfung, Hausaufgabe, schriftliche Klausur oder als semi- oder vollautomatischer WWW-basierter Test durchgeführt werden. Auf Grund der unterschiedlichen Stärken und Schwächen der verschiedenen Testformen trifft das aber nur in eingeschränktem Maß zu. Neben dem Aufwand sind diese testformspezifischen Stärken und Schwächen wichtige Kriterien bei der Auswahl der zu verwendenden Testform. Das erkennt man auch daran, daß nach den obigen Abschätzungen niemand semi-automatisches WWW-basiertes Testen oder schriftliche Klausuren zur Lernerfolgskontrolle einsetzen würde, aber die letztere Testform in der Praxis eine beträchtliche Rolle spielt. Der Grund dafür ist, daß Hausaufgaben zwar vom Aufwand günstiger sind, aber sie haben den Schwachpunkt, daß sie nicht zweifelsfrei dem Testkandidaten zugeordnet werden können. Beim vollautomatischen WWW-basierten Testen muß man sich auf Tests beschränken, die mit vertretbarem Aufwand auch automatisch ausgewertet werden können. Somit eignet sich diese Testform besser für die Überprüfung konkreter Inhalte als für abstrakte Inhalte. Tabelle 21 vergleicht einige dieser Aspekte.

	Mündliche Prüfung	Hausaufgaben	Schriftliche Klausur	WWW-basiert semi-automatisch	WWW-basiert vollautomatisch
Individualität	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja
Vergleichbarkeit der Tests bei vielen Testkandidaten	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Sichere Zuordnung zu einem Testkandidaten	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein
Interaktivität / Feedback ^a	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja
Unabhängigkeit von Ort	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja
Unabhängigkeit von Zeit	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja

Tabelle 21. Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Testformen

a. In diesem Kontext wird die Bekanntgabe des Testergebnisses nicht als Feedback betrachtet.

8.2.2 Integration in WWW-basierte Wissensvermittlung

Die WWW-basierten Formen der Lernerfolgskontrolle basieren auf denselben Technologien wie die WWW-basierte Wissensvermittlung, daher weisen sie auch dieselben Vorteile wie diese auf (siehe hierzu auch Abschnitt „2.5 Das WWW als Realisierungsplattform“):

- ▶ Einfache Speicherung und Distribution
- ▶ Einfache Anpassung und Änderbarkeit
- ▶ Möglichkeit zu Wieder- und Mehrfachverwendung
- ▶ Unabhängigkeit von Ort und Zeit

Im Zusammenhang mit WWW-basierter Wissensvermittlung ist es ein wichtiges Kriterium, daß sich WWW-basierte Tests nahtlos in WWW-basierte Kurse integrieren lassen. Wie nahtlos diese Integration sein kann, zeigt sich daran, daß ein Großteil des Kursmaterials sowohl als Lern- wie auch als Testmaterial verwendet werden kann. Hat man Kursmaterial mit integrierter Lernerfolgskontrolle, dann lassen sich die Ergebnisse der Lernerfolgskontrolle wie folgt einsetzen:

- ▶ Bei der *Wissensvermittlung* liefert die Lernerfolgskontrolle Hinweise darauf, ob oder wie weit der Schüler die neuen Inhalte gelernt hat. Anhand dieser Information kann die Lernumgebung entscheiden, ob dem Schüler das neue Wissen oder vielleicht auch nur bestimmte Teilbereiche davon erneut, z.B. mit einer anderen Herangehensweise, präsentiert werden sollte oder ob zum nächsten Schritt im Kurs übergegangen werden kann.
- ▶ Auch bei der *Exploration/Übung* kann die Lernerfolgskontrolle dazu verwendet werden, die Lernumgebung bei der Einschätzung des Wissenstands des Schülers und bei der Auswahl der nächsten Schritte zu unterstützen. Darüberhinaus kann das Ergebnis der Lernerfolgskontrolle auch dem Schüler mitgeteilt werden, um diesem eine realistische Einschätzung seines gegenwärtigen Wissensstands erlaubt.
- ▶ In der Testphase dient die Lernerfolgskontrolle zur Benotung des Schülers.

Die Trennung dieser Phasen in der herkömmlichen Wissensvermittlung rührt in erster Linie daher, daß die verschiedenen Phasen über unterschiedliche Medien realisiert wurden (z.B. Wissensvermittlung als Vorlesung, Exploration als Hausaufgaben und Test als schriftliche Klausur). Im WWW-basierten Lernen kann das gleiche Medium zur Realisierung aller drei Phasen verwendet werden. Daher können die unterschiedlichen Phasen auch ineinander übergehen, sogar soweit, daß keine expliziten, getrennten Phasen mehr erkennbar sind. Die Lernerfolgskontrolle erfolgt permanent und kann so alle Aktionen des Schülers einbeziehen. Dies erlaubt eine exaktere Einschätzung des Schülers, und da die Lernkontrolle kontinuierlich erfolgt, kann man jederzeit auf eine aktuelle Einschätzung des Wissenstands zugreifen und hat so bessere Möglichkeiten, den Kurs für den Schüler zu optimieren.



Abbildung 53. Vergleich Einsatzgebiete der Testformen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, die Kombination von WWW-basierter Wissensvermittlung mit integriertem WWW-basiertem Testen eröffnet neue Möglichkeiten in der Aus- und Weiterbildung, angesiedelt zwischen dem herkömmlichen Selbstlernen und dem Lernen mit einem Lehrer. Es kombiniert die Vorteile des Selbstlernens (Orts- und Zeitunabhängigkeit sowie Massentauglichkeit) mit den Vorteilen des Lernens mit einem Lehrer (Feedback und dynamische Anpassung an den Schüler). Ein weiterer Vorteil gegenüber den anderen beiden Lernformen ist, daß sich unterschiedlichste multimediale und interaktive Testmaterialien nahtlos in einen Kurs integrieren lassen.

8.3 Ein allgemeines Modell für Tests

Bei genauerer Betrachtung, sowohl der traditionellen Formen der Lernkontrolle (mündliche Prüfungen, Hausaufgaben, schriftliche Klausuren usw.) als auch der WWW-basierten Formen, erkennt man, daß alle diese Testformen dasselbe Phasenmodell verwenden und aus denselben Funktionsblöcken bestehen. Daraus läßt sich ein allgemeines Modell für Tests entwickeln, das auch WWW-basierte Tests beinhaltet. Ausgehend von diesem allgemeinen Modell läßt sich ein Framework für das WWW-basierte Testen entwerfen, indem man überlegt, wie sich die Funktionsblöcke des allgemeinen Modells im WWW umsetzen lassen.

8.3.1 Funktionsblöcke beim Testen

Tabelle 22 „Übersicht Funktionsblöcke beim Testen“ gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Funktionsblöcke und deren Funktionalität. Das Zusammenspiel dieser Funktionsblöcke wird im nächsten Abschnitt erläutert, wenn die einzelnen Testphasen im Detail vorgestellt werden.

Funktionsblock		Aufgabe
organisatorische	Aufsicht	Die Aufsicht ist der zentrale Funktionsblock des Tests. Sie überwacht den Ablauf des Tests und koordiniert die anderen Funktionsblöcke. Ihre Aufgabe ist es, den ordnungsgemäßen Ablauf des Tests sicherzustellen. Daher übernimmt sie die Benutzerauthentisierung, initiiert den Start eines Tests und wenn nötig auch das Beenden eines Tests.
	Testablage	Die Testablage ist zuständig für die sichere, persistente Aufbewahrung des Testmaterials. Zu Beginn eines Tests macht sie das Testmaterial der Testdarstellung verfügbar. Außerdem muß die Testablage sicherstellen, daß Schüler nicht außerhalb eines Tests auf das Material zugreifen können.
	Testdarstellung	Die Testdarstellung macht während des Tests das Testmaterial dem Schüler zugänglich. Dazu besorgt sie sich auf Veranlassung der Aufsichtskomponente das Testmaterial von der Testablage und wandelt es in eine dem Schüler angepaßte Darstellungsform.
	Benutzerprofilierung	Die Benutzerprofilierung spielt zwar für die eigentliche Durchführung eines Tests keine Rolle, sie ist jedoch im Gesamtzusammenhang unverzichtbar, da sie die Speicherung der Testergebnisse übernimmt.
testspezifische	Testzustand	Dieser Funktionsblock ist zuständig für die Verwaltung des internen Teststatus. Dieser Testzustand ergibt sich als das Resultat der Benutzeraktionen und spiegelt somit den Verlauf des Tests wieder. Insbesondere ist dieser Funktionsblock auch zuständig für das Erkennen des Testendes. Obwohl in den meisten Fällen das Ende des Tests durch ein Zeitlimit ausgelöst wird oder zumindestens in irgendeiner Weise mit einer zeitlichen Restriktion verbunden ist, sind auch andere, zeitunabhängige Bedingungen für das Testende denkbar.
	Feedback	Der Feedback-Funktionsblock liefert dem Schüler Rückmeldungen und auch Hinweise zu dem Test. Wann und welche Rückmeldungen/Hinweise dem Schüler gegeben werden, entscheidet der Feedback-Funktionsblock auf Grund des Testzustands.
	Bewertung	Dieser Funktionsblock berechnet nach dem Ende der eigentlichen Testphase das Testergebnis für den Schüler und reicht es an die Benutzerprofilierung weiter. Dazu wertet er den Testzustand am Ende des Tests aus.

Tabelle 22. Übersicht Funktionsblöcke beim Testen

Tests findet man in unterschiedlichen Umgebungen (Klassenzimmer, WWW). Diese Umgebung bestimmt auch, wie diese Funktionsblöcke realisiert werden können. Bei einer Klausur (Klassenzimmer) etwa verkörpert der menschliche Lehrer die Funktionsblöcke Aufsicht, Feedback und Bewertung, während in einer WWW-basierten Testumgebung alle oder Teile dieser Funktionen von dem Lernsystem übernommen werden. Während einige der Funktionsblöcke spezifisch für den jeweiligen Test sind, regeln andere organisatorische Aspekte, die allen Tests gemeinsam sind. Die Realisierung dieser organisatorischen Funktionsblöcke ist unterschiedlich für jede Testumgebung aber identisch für alle Arten von Tests, die in dieser Umgebung realisiert werden können. Die testspezifischen Funktionsblöcke realisieren das spezifische Verhalten eines

bestimmten Tests oder einer Klasse von Tests (Multiple-Choice- oder Fill-in-Tests). Diese Funktionsblöcke müssen für jeden Test bzw. jede Klasse von Tests neu realisiert werden.

Beim Feedback läßt sich unterscheiden zwischen *syntaktischem* und *semantischem* Feedback. Syntaktisches Feedback unterstützt durch Rückmeldungen und Hinweise den korrekten Ablauf eines Tests, d.h. es hilft dem Schüler dabei zulässige Testereignisse zu erzeugen, sagt nichts darüber aus, ob die daraus resultierende Benutzeraktion richtig im Testkontext ist. Beispiele für syntaktische Rückmeldungen sind z.B.:

- ▶ „Dieser Test wird in 2 Minuten beendet, bitte überprüfen Sie, ob Sie alle Fragen ausgefüllt haben.“
- ▶ „Ungültige Antwort. Die Antwort muß eine Zahl sein. Ihre Antwort darf daher nur aus den Zeichen '0'-'9', '+', '-' und '.' bestehen.“
- ▶ „Sie haben Frage 5 noch nicht beantwortet.“

Semantisches Feedback dagegen soll dem Schüler dabei helfen, den richtigen Lösungsweg einzuschlagen. Während syntaktische Rückmeldungen für alle Arten von Tests sinnvoll sind, wird man semantisches Feedback bei Tests, deren Zweck die Bewertung des Wissensstands eines Schülers ist, nur in eingeschränktem Maß zulassen. So kann es zum Beispiel dazu verwendet werden, nach Beendigung des Tests dem Schüler die richtige Lösung zu präsentieren. Wird ein Test aber nicht zu Bewertungszwecken sondern als Übung zur Wissensvermittlung eingesetzt, dann ist semantisches Feedbacks direkt während des Tests eine wertvolle Hilfe. Denn dann kann sofort eingegriffen werden, sobald erkannt wird, daß der Schüler ein Problem hat, und der Schüler in Richtung des korrekten Lösungswegs gelenkt werden. Auch in diesem Fall liefert ein Test nach seiner Beendigung eine Bewertung des Wissensstands des Schülers; damit diese Bewertung auch zutreffend ist, muß in die Bewertung einfließen, ob und welche Rückmeldungen gegeben wurden.

8.3.2 Phasen eines Tests

Betrachtet man die Beschreibung der Funktionsblöcke, so erkennt man, daß ein Test als eine Zustandsmaschine dargestellt werden kann, womit sich dann ein Testframework als Ausführungsumgebung für solche Testzustandsmaschinen ergibt. Welche Zustände ein Test während seiner Lebensdauer durchlaufen kann, ist spezifisch für jede Testform. Aber allen Tests gemeinsam ist, daß ihr zeitlicher Verlauf in drei sequentielle Phasen unterteilt werden kann, ausgehend davon, welche Funktionsblöcke aktiv sind. Abbildung 54 zeigt diese Phasen, die im folgenden im Detail vorgestellt werden.



Abbildung 54. Phasen eines Tests

Testauslieferung

Bevor der Schüler einen Test bearbeiten kann, muß dieser ihm erst zugänglich gemacht werden, d.h. dem Schüler muß die Aufgabenstellung mitgeteilt werden, und es muß sichergestellt sein, daß er Zugriff auf all die Ressourcen hat, die zum Lösen des Tests notwendig sind. Dies geschieht in der Auslieferungsphase.

Die Testauslieferungsphase beginnt mit der Testanforderung. Dies veranlaßt den zentralen Aufsichtsfunktionsblock einen neuen Test zu initiieren. Dazu veranlaßt die Aufsichtskomponente die Testablage, das entsprechende Testmaterial für die Testdarstellung und den Testzustand bereitzustellen und freizugeben. Dann stößt die Aufsicht die Initialisierung des Testzustands und der Testdarstellung an. Dieser Schritt beinhaltet auch die Auslieferung des benötigten Testmaterials an die Testdarstellung. Sobald die Initialisierungen abgeschlossen sind, wird der Test zum ersten Mal dargestellt. Dieser Zeitpunkt ist der *Teststart* und markiert das Ende der Auslieferungsphase und leitet den Beginn der eigentlichen Testdurchführung ein. In Abbildung 55 auf Seite 153 sind alle diese Schritte dargestellt.

Testdurchführung

Mit dem Teststart beginnt die eigentliche Testphase, d.h. die Phase, in der ein Schüler wirklich mit dem Testmaterial arbeitet. Die Testdarstellung erzeugt eine Repräsentation des Tests, mit der der Schüler interagieren kann. Als Folge der Benutzeraktionen ändert sich die Repräsentation des Tests. Dies ist sowohl der Fall für

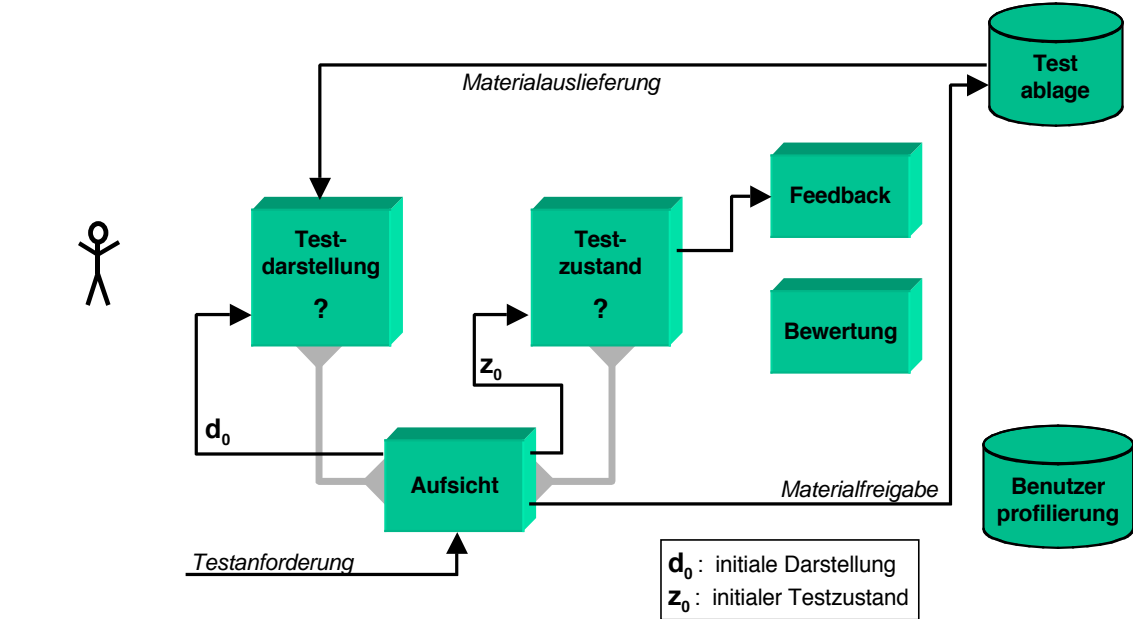


Abbildung 55. Testauslieferung

Benutzeraktionen, die relevant für das Testergebnis sind, als auch für solche, die nicht relevant für das Testergebnis sind. Die Testdarstellung informiert den Testzustand über alle signifikanten Ereignisse, die für den Testzustand von Relevanz sind. Anhand dieser Benachrichtigungen wird der Testzustand auf dem aktuellen

Abbildung 56. Testdurchführung

Stand gehalten (siehe Abbildung 56). Man beachte die Tatsache, daß die Testdarstellung nur indirekt vom aktuellen Testzustand abhängt. Stattdessen wird sie vom Darstellungsfunktionsblock selbst bestimmt. Diese Trennung von Testdarstellung und Testzustand ist ein wichtiger Punkt für die Sicherheit. Ein Schüler muß immer Zugang zu der Testdarstellung haben. Wenn man aber alle semantisch relevanten Informationen in eine eigene Komponente, den Testzustand, konzentriert und diese Komponente dann so realisiert, daß der Schüler keinen Zugriff auf diese Komponente hat, dann kann der Schüler den aktuellen Zustand weder ausspähen noch manipulieren.

Die Feedbackkomponente überwacht den jeweiligen Testzustand und kann, wenn dies notwendig werden sollte, mittels einer Feedbacknotifikation eine Änderung der Testdarstellung auslösen. Damit gibt es eine Möglichkeit, wie semantische Information aus dem Testzustand doch die Testdarstellung beeinflussen kann, ohne daß der Schüler Zugang zu der semantischen Information bekommt. Im Gegensatz zur Testauslieferung spielt die Aufsicht während der Testdurchführung keine aktive Rolle. Dennoch überwacht sie die Testdarstellung und

den Testzustand, um Manipulationen von Seiten des Schülers zu verhindern. Diese Überwachung wird in den Abbildungen durch die grauen Linien angedeutet.

Testbewertung

Die wichtigste Aufgabe der Aufsicht ist es sicherzustellen, daß Tests ordnungsgemäß durchgeführt und auch abgeschlossen werden, z.B. nach Ablauf eines Zeitlimits. Daher ist der Aufsichtsfunktionsblock auch zuständig für das Beenden des Tests. Ist der Zeitpunkt des Testendes gekommen, dann teilt er dies der Testdarstellung und dem Testzustand mit und aktiviert nach deren Beendigung den Bewertungsfunktionsblock, der ausgehend von der im Testzustand enthaltenen Information eine abschließende Bewertung vornimmt. Diese Bewertung wird dann permanent im Benutzerprofil des Schülers abgelegt.

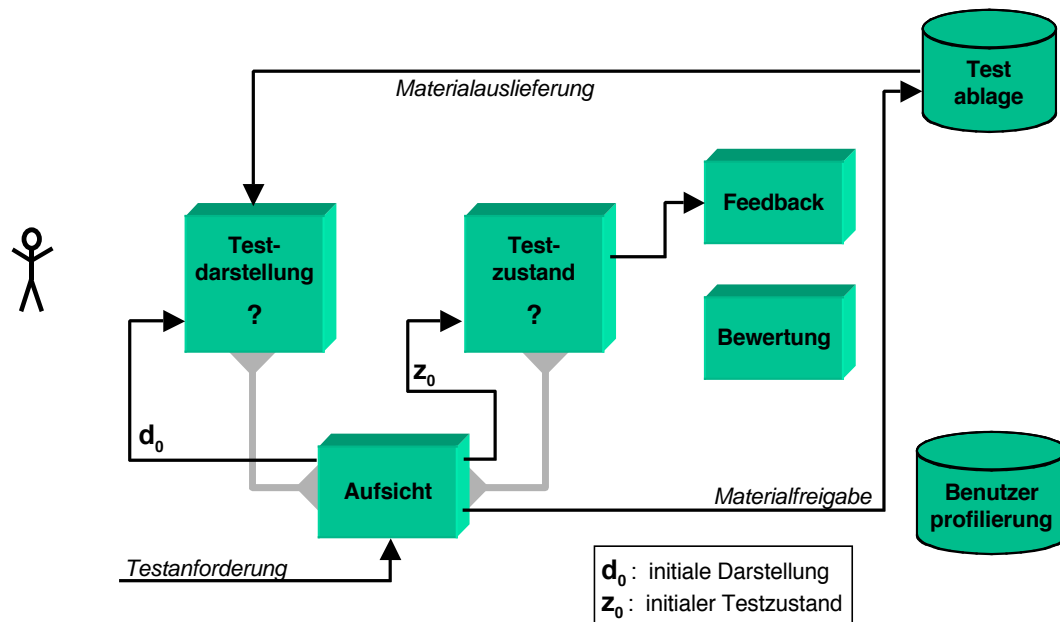


Abbildung 57. Testbewertung

8.4 Problemfelder beim WWW-basierten Testen

Im folgenden Abschnitt werden die Probleme beim WWW-basierten Testen im Detail vorgestellt. Es liegt in der Natur der Sache einer allgemeinen Betrachtung wie der folgenden, daß viele der aufgestellten Forderungen Maximalforderungen sind, d.h. es sind durchaus Szenarien vorstellbar, in denen auf einige dieser Forderungen verzichtet werden kann. An gegebener Stelle wird darauf eingegangen werden, welche Forderungen man vernachlässigen könnte und welche Konsequenzen dies nach sich ziehen würde. Generell ist jedoch der Anspruch, mit WWW-basiertem Testen eine Ebene vergleichbar mit schriftlichen Klausuren zu erreichen.

8.4.1 Materialauslieferung

Für Testmaterial gelten im WWW-basierten Lernen, was die Materialauslieferung betrifft, dieselben Anforderungen wie für Testmaterial in herkömmlichen Prüfungen:

- ▶ Es muß einen wohldefinierten Startzeitpunkt für den Test geben.
- ▶ Vor diesem Startzeitpunkt darf der Prüfling nicht auf das Testmaterial zugreifen können.
- ▶ Unmittelbar nach dem Startzeitpunkt muß alles Material dem Prüfling zur Verfügung stehen.

Würde man Testmaterial wie normale WWW-Dokumente ausliefern, so ließe sich keine der obigen Anforderungen erfüllen. HTTP verfügt über keinerlei Mechanismen, um sicherzustellen, daß ein angefordertes Dokument auch wirklich vollständig übertragen wird. Darüberhinaus sind nahezu alle WWW-Dokumente zusammengesetzte Dokumente, d.h. das Dokument enthält Elemente wie Bilder, Frames oder JavaScript Code, die nicht in dem eigentlichen HTML-Dokument selbst enthalten sind, sondern nur über Referenzen eingebunden werden. Derartige zusammengesetzte Dokumente werden sequentiell geladen, und die einzelnen Bestandteile werden angezeigt, sobald sie verfügbar sind. Dieses Verhalten ist zwar wünschenswert, wenn man über das WWW auf verteilt abgelegte Informationen zugreifen will, wofür das WWW ja ursprünglich auch konzipiert wurde. Denn so kann der Leser bereits mit dem Lesen der Information beginnen, sobald ein Teildokument vollständig empfangen wurde, und er muß nicht warten, bis alle Elemente komplett übertragen worden sind. Auch der Fall, daß ein Dokument nur teilweise übertragen wird, ist beim Zugriff auf Informationen

eher eine Unbequemlichkeit als ein kritisches Problem. Aber im Fall des WWW-basierten Testens sind Tests in der Mehrzahl der Fälle zeitkritisch. Dies setzt jedoch ein wohldefiniertes zeitliches Verhalten bei der Materialauslieferung voraus. Abbildung 58 auf Seite 155 zeigt das zeitliche Verhalten bei der Auslieferung von Testmaterial: sowohl das gewünschte als auch das tatsächliche Verhalten.

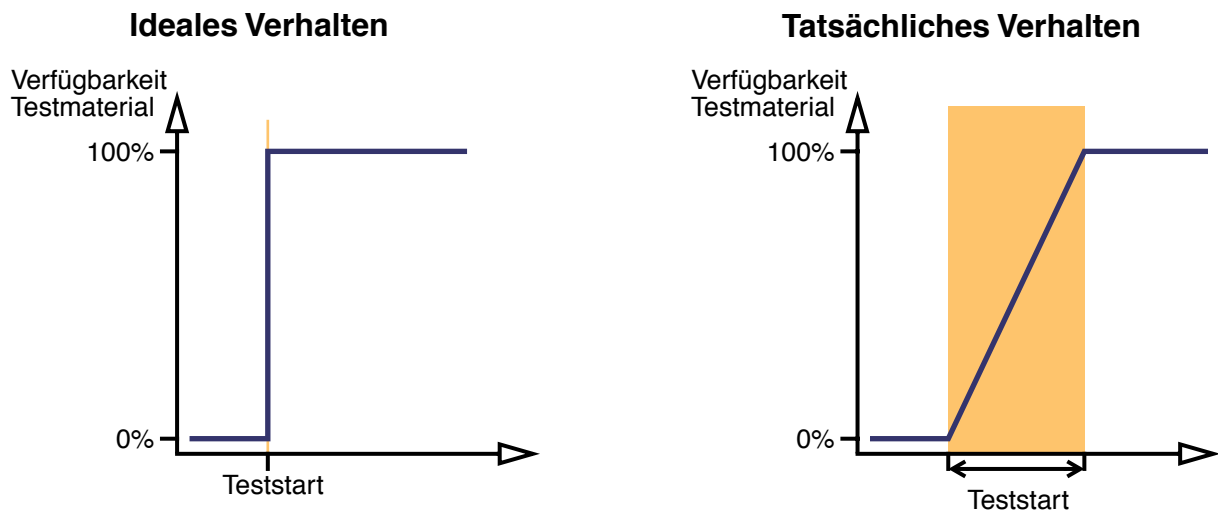


Abbildung 58. Zeitliches Verhalten bei Auslieferung von Tests

Wie man erkennt, läßt sich zwar ein Zeitraum für das Laden des Testmaterials bestimmen, aber kein eindeutiger Zeitpunkt für den Start des Tests. Das ist insbesondere ein Problem, weil der Ladezeitraum bei schlechter Netzverbindung oder auch bereits bei zufriedenstellender Netzverbindung bei der Verwendung von großen Unterdokumenten durchaus in Bereichen liegen kann, die nicht mehr tolerierbar sind (bis hin zu mehreren Minuten).

Es ist weder möglich den Beginn noch das Ende des Ladezeitraums als Startzeitpunkt für den Test zu definieren. Würde man Ersteres tun, dann müßte der Schüler bereits mit dem Test beginnen, während noch nicht alles Testmaterial verfügbar ist. Da das WWW aber keinerlei Mechanismen bietet, die Auslieferung des restlichen Materials überhaupt, geschweige denn innerhalb eines bestimmten Zeitraums, zu garantieren, wäre es durchaus möglich, daß der Testzeitraum abgelaufen ist, aber essentielles Testmaterial noch immer nicht geladen werden konnte. Das Fehlen garantierter Übertragungszeiten zusammen mit der bereits beschriebenen iterativen Dokumentdarstellung verbietet auch den zweiten Ansatz, bei dem der Testzeitraum erst startet, sobald alles Testmaterial erfolgreich übertragen wurde. Da der Schüler während des Ladezeitraums bereits Zugriff auf bereits geladenes Testmaterial hat, kann er, wenn essentielles Testmaterial gleich zu Beginn erfolgreich geladen wurde und anderes Testmaterial sich verzögert, bereits mit der Bearbeitung des Tests beginnen, noch bevor der Testzeitraum beginnt. Ein Schüler kann, indem er das Laden mutwillig unterbricht, sich beliebig viel zusätzliche Zeit zum Lösen einer Aufgabe verschaffen. Während die erste Vorgehensweise in unzulässiger Art und Weise zu Ungunsten des Schülers geht, räumt ihm die zweite klar zu viele Vorteile ein.

Abgesehen von den Problemen, die aus der Dauer eines Auslieferungsvorgangs resultieren, gibt es noch einen weiteren Aspekt zu beachten. Ein Schüler darf sich vor dem eigentlichen Test keinen Zugang zu den verwendeten Testmaterialien verschaffen, um dann später mit diesem Vorwissen den eigentlichen Test schneller bearbeiten zu können. Viele WWW-Server bieten zwar Mechanismen zur Zugriffskontrolle an. Typischerweise regeln diese Mechanismen aber nur, ob ein bestimmter Benutzer überhaupt Zugriff auf bestimmtes Material hat oder nicht. Zeitlich beschränkte Zugriffsrechte lassen sich, wenn überhaupt, nur mit zusätzlichem Aufwand realisieren. Viele WWW-Server erlauben die Protokollierung der Zugriffe auf ihr Material, so daß man feststellen kann, ob ein Benutzer versucht, vor einem Test auf das Testmaterial zuzugreifen. Was jedoch für beide Mechanismen fehlt, ist ihre Integration in eine Lern- bzw. Testumgebung. Das Framework für die Lernerfolgskontrolle, das im nächsten Kapitel vorgestellt wird, verfügt daher über einen Mechanismus zur Auslieferung von Testmaterial, der die zu Beginn dieses Abschnitts aufgeführten Kriterien erfüllt.

8.4.2 Sichere Testauswertung

Ein zweiter wichtiger Punkt ist die Auswertung eines Tests. Sie findet immer dann statt, wenn der Schüler den Test beendet hat, und berechnet ein Maß für den Wissenstand des Schülers. Dazu müssen alle Aktionen, die der Schüler während der Testphase ausgeführt hat, ausgewertet werden. Im einfachsten Fall bedeutet dies, es werden direkt die Antworten, die der Schüler gegeben hat, bewertet. Mit dem Testframework sollen aber auch komplexere Auswertungsschemata möglich sein, z.B. solche, bei denen aus der Folge der Aktionen, mit

denen der Schüler zu seiner Lösung gekommen ist, auf den Wissenstand des Schülers geschlossen wird. Dies erlaubt eine detailliertere Beurteilung des Lernerfolgs.

Aus den Forderungen nach der Vertraulichkeit und Integrität des Lernen lassen sich die folgenden konkreten Anforderungen für eine sichere Testauswertung herleiten:

- ▶ Bevor und während eines Tests muß die Lösung vor dem Schüler geheimgehalten werden.
- ▶ Dem Schüler muß es unmöglich sein, den Bewertungsmechanismus einzusehen oder zu manipulieren.
- ▶ Der Benutzer darf nicht die Übertragung des Testergebnisses an das Benutzerprofil beeinflussen können.

Realisiert man die Testauswertung mittels CGI-Skripten oder Servlets, dann erfüllt sie fast alle der obigen Anforderungen. Da die Bewertung auf der Serverseite stattfindet, ist sie – vorausgesetzt natürlich, daß der Server gegen unberechtigte Zugriffe von Außenstehenden abgesichert ist – für den Schüler nicht einsehbar und auch nicht manipulierbar. Auch die Übermittlung des Ergebnisses an das Benutzerprofil findet auf der Serverseite statt und ist deshalb sicher vor Manipulationen von Seiten des Schülers. Es ist auch ein Problem, daß CGI-Skripte und Servlets über eine URL angesprochen werden. Ein Schüler könnte diese URLs solange aufrufen, bis er die Parameter, die der korrekten Antwort entsprechen, durch Ausprobieren gefunden hat. Allerdings läßt sich dieses Problem durch entsprechende Erweiterungen auf der Serverseite lösen¹, die derartige Ausprobieren erkennen und verhindern. Jedoch beschränken konzeptionelle Gründe die Eignung von CGI-Skripten bzw. Servlets für ein Testframework.

Wie HTTP auch sind CGI-Skripte und Servlets zustandslos, d.h. sie werden mit einem Satz von Argumenten versehen und berechnen das Ergebnis ausschließlich aufgrund dieser übergebenen Parameter. Damit lassen sich leicht Tests realisieren, bei denen am Testende der Zustand des Test (Zustand des angezeigten HTML-Dokuments) als Argument an ein CGI-Skript oder ein Servlet übermittelt und dort ausgewertet wird. Auf diese Weise kann jedoch nur der Endzustand eines Tests bewertet werden, nicht aber die ganze Entwicklung, die zu diesem Ergebnis geführt hat. Deren Auswertung kann jedoch wertvolle Hinweise auf den Wissensstand des Schülers liefern. Weiterhin kann es für fortgeschrittene Formen von Tests durchaus wünschenswert sein, dem Schüler bereits während der Testphase Feedback zu geben. Um aber Feedback generieren zu können, bedarf es einer zumindest teilweisen kontinuierlichen Auswertung des Test bereits während er läuft. Dies steht jedoch im Widerspruch zur zustandslosen Natur von CGI-Skripten und Servlets.

Kontinuierliches Feedback und Testauswertung läßt sich durch die Nutzung von JavaScript Codes oder Javaapplets im Testmaterial realisieren. Insbesondere bei JavaScript ist es allerdings für einen Schüler überhaupt kein Problem, den Code für die Testauswertung einzusehen und die richtige Lösung aus diesem Code abzuleiten. Er kann auch mittels des frei verfügbaren JavaScript Debuggers jederzeit während der Ausführung des Tests die zur Testauswertung verwendeten Variablen zu seinen Gunsten manipulieren. Bei der Verwendung von Javaapplets anstelle von JavaScript kann der Schüler nicht ohne spezielle Werkzeuge auf den Java-Quelltext zugreifen kann. Das erhöht zwar den Aufwand für einen Angreifer, bietet aber letztendlich auch keinen wirksamen Schutz vor Manipulationen. Dafür ist der Aufwand, der zum Erstellen des Codes für die Testauswertung notwendig ist, signifikant höher als bei einer Lösung mit JavaScript. Bei beiden clientseitigen Lösungen hat man zudem noch das Problem, daß das ermittelte Ergebnis sicher an den Server übermittelt werden muß, was wiederum ein potentieller Angriffspunkt für einen Schüler ist. Er könnte das richtige Ergebnis abfangen und stattdessen ein verfälschtes Ergebnis an der Server weiterleiten.

Als Fazit kann festgehalten werden: Aus Sicherheitsgründen sollte die Testauswertung auf der Serverseite stattfinden. Allerdings muß das in einer zustandsbehafteten Art und Weise erfolgen, so daß auch die Entwicklung, die zum Testergebnis geführt hat, nachvollziehbar und bewertbar ist, und auch bereits, während ein Test noch läuft, Auswertungen vorgenommen werden können (Feedback).

8.4.3 Zeitüberwachung

Sowohl für das Testen selbst als auch für die Testauswertung ist eine verlässliche Zeitüberwachung unabdingbar. Diese Zeitüberwachung muß folgendes garantieren:

- ▶ Exakte Zuordnung von Benutzeraktionen zu Zeitpunkten
- ▶ Genauigkeit im Bereich von Sekunden
- ▶ Sicherheit gegenüber Manipulationen
- ▶ Möglichkeit, einen Test zuverlässig nach dem Ablauf einer vorgegeben Zeitspanne beenden zu können

1. Man könnte z.B. verhindern, daß ein Schüler beliebig oft auf die gleiche URL zugreifen kann, oder noch einfacher könnte man einfach mitprotokollieren, wie oft ein Schüler auf eine URL zugreift.

Beim WWW-basierten Testen geht es darum, den zeitlichen Ablauf eines Tests festzuhalten. Dafür ist es wichtiger, die Zeitspanne zwischen zwei Ereignissen korrekt wiederzugeben, als den exakten Zeitpunkt angeben zu können, wann ein Ereignis eingetreten ist. Eine Genauigkeit im Sekundenbereich ist dafür ausreichend.

Implementiert man die Zeitüberwachung auf der Clientseite, dann erlaubt dies zwar die exakte Zuordnung von Benutzeraktionen zu den jeweiligen Zeitpunkten und dies auch mit der gewünschten Genauigkeit, jedoch kann diese Form der Zeitüberwachung leicht manipuliert werden. Sobald der Schüler ein HTML-Dokument in seinem WWW-Browser erneut lädt, werden auch alle im etwaigen JavaScript-Code oder Javaapplet verwendeten Uhren zurückgesetzt. Wird die Zeitüberwachung dagegen auf dem Server implementiert, dann ist sie zwar sicher vor Manipulationen, aber wegen der unterschiedlichen Laufzeiten im Netzwerk weder exakt noch bietet sie die gewünschte Genauigkeit. Im schlimmsten Fall kann es sogar vorkommen, daß einzelne Benutzeraktionen einander bei der Übermittlung im Netzwerk überholen, was dazu führen würde, daß die Reihenfolge der Aktionen vertauscht würde. Für die Sicherheit ist es vor allem wichtig zu verhindern, daß sich ein Schüler durch absichtliches oder auch unabsichtliches Neuladen von Testdokumenten signifikant viel zusätzliche Zeit erschleicht.

8.4.4 Behandlung von Benutzeraktionen

Benutzeraktionen sind die Grundlage für die Testevaluierung. Daher bedarf es eines Mechanismus, mit dessen Hilfe sich die Benutzeraktionen mitverfolgen und mitprotokollieren lassen. Hat man eine verlässliche Zeitüberwachung, so können den Benutzeraktionen auch Zeitpunkte zugeordnet werden, und man erhält neben der Information, was ein Schüler getan hat, auch die Information, wann diese Aktionen erfolgt sind. Bereits die Analyse, welche Aktionen ein Schüler in welcher Reihenfolge vorgenommen hat, kann wertvolle Hinweise auf Wissensdefizite beim Schüler geben. Hat man zusätzlich noch die Informationen über den zeitlichen Ablauf, dann erlaubt dies eine noch exaktere Einschätzung der Fähigkeiten eines Schülers. Denn aus der Information, daß ein Schüler die richtigen Aktionen ergriffen hat, läßt sich zwar schließen, daß er ein bestimmtes Lernziel prinzipiell erreicht hat. Aber nur die Analyse des zeitlichen Verhaltens kann Aufschluß darüber geben, wie gut er das entsprechende Wissen anwenden kann. So ist es z.B. zwar gut zu wissen, daß ein Schüler Dreisatzaufgaben lösen kann. Für die genaue Einschätzung seiner Fähigkeiten will man aber auch wissen, ob er dazu 5 Minuten oder 50 Minuten benötigt. Im letzterem Fall hat er zwar das Lernziel „Lösen von Dreisatzaufgaben“ erreicht, dennoch wäre wohl noch etwas Übung angebracht. Bei der Bewertung des zeitlichen Verhaltens muß man jedoch ein gewisses Maß an Vorsicht an den Tag legen, insbesondere dann, wenn die Tests ohne Zeitlimit erfolgen oder ein Schüler sie mehrfach absolvieren kann. Die Aussage „Ein Schüler hat laut Protokoll n Minuten zum Bearbeiten einer Aufgabe benötigt“ müßte strenggenommen eigentlich lauten „Ein Schüler hatte laut Protokoll nach n Minuten die Aufgabe gelöst“. Der kleine aber bedeutsame Unterschied zwischen diesen beiden Feststellungen rührt daher, daß man im allgemeinen nämlich nicht ohne weiteres feststellen kann, ob der Schüler wirklich die vollen n Minuten auf die Lösung der Aufgabe verwendet hat oder nur m Minuten ($m < n$) und die restlichen $n-m$ Minuten sich mit anderen Dingen beschäftigt hat. Auch der umgekehrte Fall, daß ein Schüler mehr Zeit gebraucht hat, als es das Protokoll vermerkt, ist möglich, nämlich dann, wenn ein Test mehrfach absolviert werden darf. Dann kann ein Student wie folgt vorgehen: Er startet den Test das erste Mal, notiert sich die Aufgabenstellung und verläßt den Test nach kurzer Zeit wieder. Dann arbeitet er außerhalb des Lernsystems die Lösung aus. Irgendwann später startet er den Test erneut, muß diesmal aber nur noch die richtige Lösung eingeben und kann den Test dann gleich wieder verlassen. Da es aber nicht möglich ist herauszufinden, wieviel Zeit er außerhalb des Testsystems mit der Lösung der Aufgabe verbracht hat, kann man die tatsächliche Zeit, die ein Schüler zur Lösung gebraucht hat, nicht ermitteln.

Wenn man dem Protokoll der Benutzeraktionen aber nicht trauen darf, warum macht man sich dann überhaupt die Mühe damit? Dieselbe Problematik findet man auch mit herkömmlichen (schriftlichen) Tests. Sobald man verlässliche Daten braucht, muß man durch organisatorische Maßnahmen sicherstellen, daß ein Schüler einen Test nur ein einziges Mal absolvieren kann und ihm nur ein gewisses Pensum an Zeit dafür zur Verfügung steht (schriftliche Klausuren). Dennoch findet man daneben auch Tests (Hausaufgaben), die nicht so strikt überwacht werden. Deren Ergebnisse sind dann zwar auch nicht so aussagekräftig und so verlässlich, dennoch können sie dem Tutor zeigen, wo ein Schüler Probleme hat. Auch ohne Berücksichtigung der zeitlichen Zusammenhänge, kann allein die Information, welche Aktionen der Schüler unternommen hat, dem Tutor wertvolle Hinweise geben.

Übertragen auf die Bewertung von Tests im Computer-unterstützten Lernen bedeutet das, man muß wie bei herkömmlichen Tests bei der Auswertung von Tests die Rahmenbedingungen, unter denen die Tests stattfinden, berücksichtigen. Verlässliche Daten mit korrekten Zeitangaben erhält man nur dann, wenn man durch administrative und organisatorische Maßnahmen sicherstellt, daß ein Schüler einen Test nur einmal absolvieren kann und daß ihm dafür auch nur eine begrenzte Zeit zur Verfügung steht. So ist sichergestellt, daß er die

Lösung nicht außerhalb des Lernsystems ausarbeiten kann, und man kann auch davon ausgehen, daß der Schüler die ihm zur Verfügung stehende Zeit vorrangig für den Test verwendet.

Bei einer Umsetzung ist folgendes zu beachten: Da zur Auswertung der Benutzeraktion eine Interpretation der Benutzeraktionen nötig ist und die dazu benötigten Informationen vor dem Schüler geheimgehalten werden müssen, muß die Behandlung der Benutzeraktionen auf der Serverseite erfolgen. Da die Benutzeraktionen aber auf der Clientseite generiert werden, muß das Testframework einen Mechanismus bereitstellen, mit dem sich Benutzeraktionen vom Client auf den Server übermitteln lassen. Was ein relevantes Testereignis ist, ist spezifisch für die jeweilige Testform oder sogar für den jeweiligen Test, daher muß solch ein Mechanismus mit generischen Testereignissen umgehen können.

8.4.5 Erzeugung von Feedback

Feedback ist gewissermaßen das Inverse zu Benutzeraktionen, da hier die Information vom Testsystem zum Schüler fließt. Ein Feedbackmechanismus läßt sich für eine Vielzahl von Dingen einsetzen. Am elementarsten ist seine Verwendung, um dem Schüler nach Ende des Tests mitzuteilen, wie er abgeschnitten hat. Zusätzlich ist es auch möglich und hilfreich, ihn auf die richtigen Lösungen hinzuweisen. Es gibt andere sinnvolle Anwendungen für Feedback während eines Tests. Im Falle von zeitbeschränkten Tests kann man den Feedbackmechanismus dazu verwenden, den Schüler auf das nahende Ende des Tests hinzuweisen. Man kann den Feedbackmechanismus aber auch dazu verwenden, dem Schüler während des Tests bei Bedarf zusätzliche Erklärungen oder Hinweise zur Lösung des Test zu geben, bis hin zu expliziten Anleitungen zur Lösung. Das ist insbesondere sinnvoll bei fortgeschrittenen Lernformen, bei denen die Wissensvermittlung, -erprobung und -überprüfung in eine gemeinsame Phase integriert sind.

In Abschnitt „8.3.1 Funktionsblöcke beim Testen“ auf Seite 151 wurde bereits die Unterscheidung zwischen syntaktischem und semantischem Feedback eingeführt. Syntaktischer Feedback stellt aus Sicht der Sicherheit kein Problem dar. Anders ist die Situation bei semantischem Feedback. Hier gilt:

- ▶ Wenn semantischer Feedback gegeben wurde, dann muß dies auch in dem Benutzerprofil vermerkt werden, damit dieses den Lernverlauf auch akkurat wiedergibt.
- ▶ Es muß dafür Sorge getragen werden, daß, während ein Test, der ausschließlich der Bewertung des Schülers dient, durchgeführt wird, kein semantisches Feedback gegeben wird.

Im Lernmaterial muß Code enthalten sein, der festlegt, wann welches Feedback gegeben werden soll. Für semantisches Feedback muß dieser Code die Korrektheit der Benutzeraktionen bewerten. Wenn Schüler sich Zugriff auf diesen Code verschaffen können, können sie daraus die korrekte Lösung ableiten. Daher muß der Code für semantischen Feedback vor dem Zugriff der Schüler geschützt werden.

8.5 Framework zur Lernerfolgskontrolle

Im folgenden wird erläutert, wie sich mit dem WWW sowohl eine verlässliche etablierte Lernerfolgskontrolle als auch neuartige Formen der Lernerfolgskontrolle realisieren lassen. Dazu wird ein offenes Testframework[82], [83] vorgestellt, das die Defizite des WWW ausgleicht, indem es die elementaren Funktionalitäten bereitstellt, die für eine sichere Lernerfolgskontrolle notwendig sind.

8.5.1 Systemübersicht

Beim Entwurf und der Realisierung des Testframeworks standen die folgenden Designziele im Vordergrund:

- ▶ *Plattformunabhängigkeit.* Das Framework soll clientseitig mit jedem Browser auf jeder Plattform zusammenarbeiten können. Auch die serverseitigen Komponenten des Frameworks sollen soweit wie möglich plattform-unabhängig gehalten werden.
- ▶ *Offenheit.* Das Testframework soll in jede Art WWW-basierter Lernsysteme integrierbar sein.
- ▶ *Interaktivität.* Mit dem Testframework sollen sich auch hochgradig interaktive Testformen realisieren lassen, ohne daß dies zu Lasten der Leistungsfähigkeit (Performance) oder gar der Sicherheit geht.
- ▶ *Sicherheit.* Alle elementaren Sicherheitsmechanismen sollen integraler Teil des Testframeworks sein.
- ▶ *Erweiterbarkeit.* Das Testframework soll nicht auf einige wenige Klassen von Tests beschränkt sein, sondern es soll möglich sein, das Framework jederzeit um weitere Testklassen zu erweitern.
- ▶ *Nutzung von Testmustern.* Das Testframework soll es ermöglichen, gemeinsame Muster im Bereich Testen als wiederverwendbare Komponenten zu realisieren.
- ▶ *Einfache Testerstellung.* Um auch Autoren mit geringen oder ohne Programmierkenntnisse ein einfaches und effizientes Erstellen von neuen Testinstanzen zu ermöglichen, soll das Testframework den Einsatz von Vorlagen und Testgeneratoren ermöglichen.

Insbesondere zur einfachen Realisierung der letzten vier Punkte wurde ein objektorientierter Ansatz mit expliziten Testklassen verwendet. Dabei repräsentiert jede Testklasse eine spezifische Form des Testens oder, in anderen Worten, jede Testklasse kapselt ein bestimmtes Testmuster. Die grundlegende Testfunktionalität inklusive der elementaren Sicherheitsmechanismen ist in einer abstrakten Basistestklasse realisiert, von der alle anderen Testklassen abgeleitet werden. Um das Framework um weitere Testformen zu erweitern, muß also lediglich eine zusätzliche Testklasse definiert werden. Da diese aber wie alle Testklassen von der gemeinsamen Basisklasse abgeleitet ist, erbt sie bereits alle Testfunktionalitäten, und es müssen lediglich die virtuellen Methoden der abstrakten Basisklasse überschrieben werden, die das für diese Testform spezifische Verhalten definieren. Ein ausführliches Beispiel hierfür findet sich in Abschnitt „9.3.1 Erstellen und Hinzufügen neuer Testklassen“. Als Implementierungssprache wurde Java gewählt. Der wichtigste Grund dafür war die Plattformunabhängigkeit. Die allermeisten WWW-Browser unterstützen Javaapplets, und Java Virtual Machines existieren für alle wichtigen Plattformen. Damit lassen sich sowohl die clientseitigen wie auch die serverseitigen Komponenten des Testframeworks plattformunabhängig in derselben Programmiersprache realisieren. Da Java eine interpretierte und keine kompilierte Sprache ist, ist die Erweiterung um neue Testklassen jederzeit möglich, ohne daß eine Neukompilierung des Codes für das Testframework nötig ist. Ein weiterer wichtiger Grund für die Wahl von Java war auch die Existenz von Java Remote Method Invocation (RMI) [26]. Im Testframework kommunizieren clientseitige und serverseitige Komponenten über RMI, wann immer HTTP nicht die gewünschte Sicherheit oder Verlässlichkeit bietet. Neben der abstrakten Basisklasse für Tests und Testklassen besteht das Testframework serverseitig noch aus zwei weiteren zentralen Komponenten, dem Testkoordinator und die RMI-Registry. Abbildung 59 auf Seite 159 zeigt die Systemarchitektur des Testframeworks.

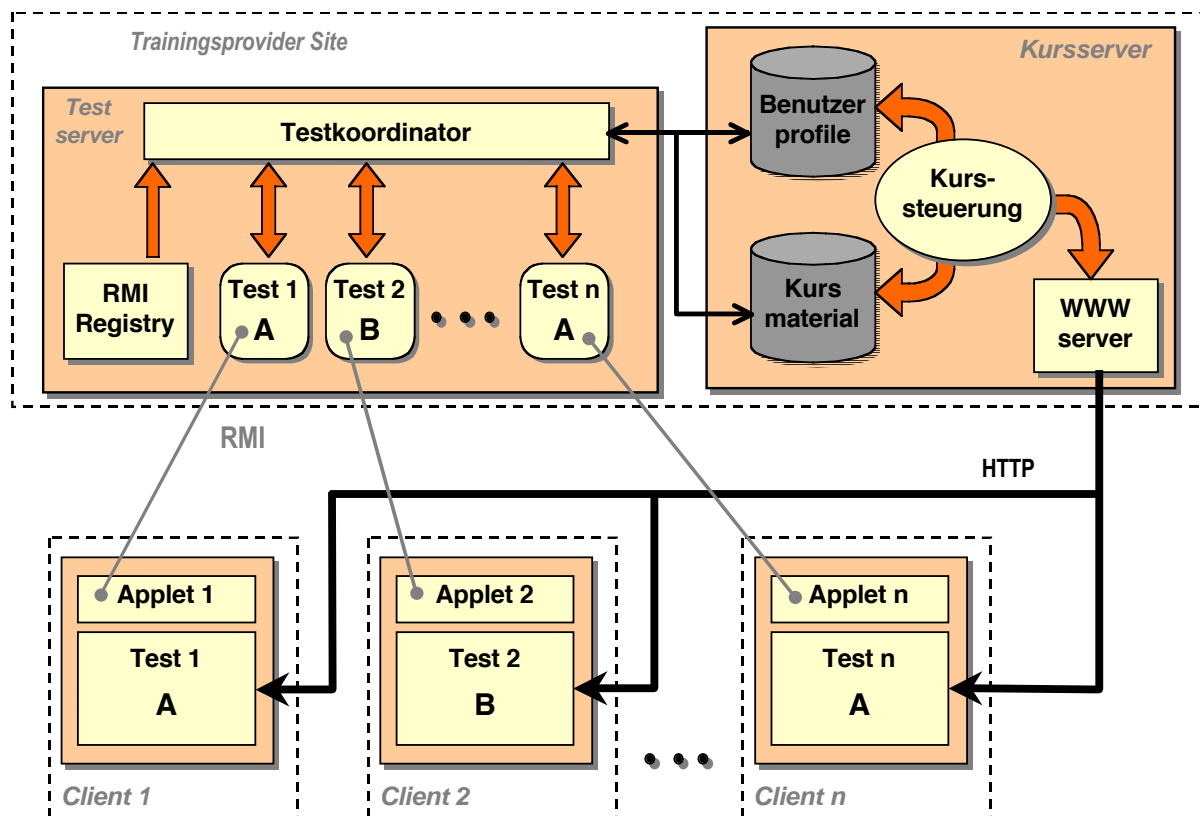


Abbildung 59. Systemarchitektur Testframework

Man erkennt die zwei wesentlichen Komponenten des Frameworks: Den Testserver und die Testapplets. Der Testserver enthält zum einen im Testkoordinator die Logik für die generelle Verwaltung von Tests, die Anbindung an ein WWW-basiertes Lernsystem, und zum anderen erzeugt und verwaltet er für jeden aktiven Test ein eigenes Testobjekt. Jedes Testobjekt ist abgeleitet von einer der Testklassen und ist verantwortlich für die Durchführung eines bestimmten Tests. Das Lernsystem, das im einfachsten Fall ein einfacher WWW-Server sein kann, ist zuständig für die Wissensvermittlung. Dies beinhaltet die Auslieferung und permanente Ablage allen Lernmaterials, inklusive des Testmaterials, und auch die Benutzerprofile. Der Testserver verwendet ein abstraktes Interface, um serverseitig auf Testmaterial oder das Benutzerprofil zuzugreifen. Somit kann die permanente Ablage sowohl auf dem Dateisystem oder in einer Datenbank oder auf einem beliebigen anderen Medium erfolgen. Ferner verfügt der Testserver über eine RMI-Registry. Diese wird benötigt, da jedes Testob-

jekte über RMI [26] mit einem zugehörigen Testapplet im WWW-Browser des Schülers verbunden ist. Das Testapplet realisiert die elementaren Testservices auf der Clientseite und kümmert sich um die Kommunikation mit dem Testserver. Die Testdarstellung erfolgt in einem zweiten Framewindow des WWW-Browsers, der über HTTP an den zum Kursserver gehörenden WWW-Server angebunden ist.

8.5.2 Elementare Testservices

In diesem Abschnitt wird im Detail darauf eingegangen, wie die elementaren Testservices im Testframework realisiert werden.

Sichere und garantierte Materialauslieferung

Da sich über HTTP keine sichere und garantierte Materialauslieferung realisieren läßt, verwendet das Testframework eine RMI-Verbindung, um alles testrelevante Material zu laden. Bevor ein Test gestartet werden kann, muß auf der Clientseite das Testapplet geladen sein. Sobald das Testapplet geladen ist, baut es eine RMI-Verbindung zum Testserver auf und registriert sich bei diesem. Dabei wird dann auf dem Server ein Testobjekt angelegt, das die Verwaltung des Tests übernimmt und auch die Verbindung mit dem Testapplet handhabt. Als erste Aktion beim Starten eines neuen Tests fordert das Testobjekt über diese RMI-Verbindung eine Liste aller testrelevanten Materialien an (d.h. alle Testmaterialien, die zum Zeitpunkt des Teststarts vorhanden sein müssen) und lädt dann alle diese Testmaterialien vom WWW-Server. Das geschieht zwar unter Verwendung von HTTP, aber weil das Testmaterial von einem Applet und nicht von dem WWW-Browser geladen wird, wird das Testmaterial nach dem Laden nicht angezeigt, sondern nur in dem Cache des WWW-Browser abgelegt. Sobald das gesamte relevante Testmaterial erfolgreich geladen worden ist, veranlaßt das Testapplet unter Verwendung der JavaScript-Schnittstelle den WWW-Browser in einem separaten Browserfenster, mit der Darstellung der Startseite für den Test zu beginnen. Da zu diesem Zeitpunkt bereits das gesamte testrelevante Material in den Cache des Browsers geladen wurde, ist sichergestellt, daß (a) alles Testmaterial auch verfügbar ist (Garantiertheit) und (b) daß das Laden des testrelevanten Materials ohne weitere Verzögerungen erfolgt. Damit definiert der Zeitpunkt der Darstellung der Startseite des Tests einen eindeutigen Startzeitpunkt für den Test mit den gewünschten Eigenschaften. Bei diesem Verfahren gibt es, so wie es oben beschrieben ist, jedoch noch einen Schwachpunkt. Da das testrelevante Material, wenn es vom Testapplet angefordert wird, im Klartext in dem Browsercache abgelegt wird, könnte der Schüler vor dem Teststart das Testmaterial betrachten, wenn er direkt auf den Browsercache zugreift. Um diese Möglichkeit auszuschließen, muß das Testmaterial in verschlüsselter Form vom WWW-Browser geladen und auch verschlüsselt in den Browsercache geschrieben werden. Entschlüsselt werden darf es erst unmittelbar, bevor mit der Darstellung der Startseite begonnen wird. Dabei muß sichergestellt sein, daß das Testmaterial nur über das Testapplet entschlüsselt werden kann. Abbildung 60 zeigt den Verlauf der Materialanforderung bei dieser Vorgehensweise.

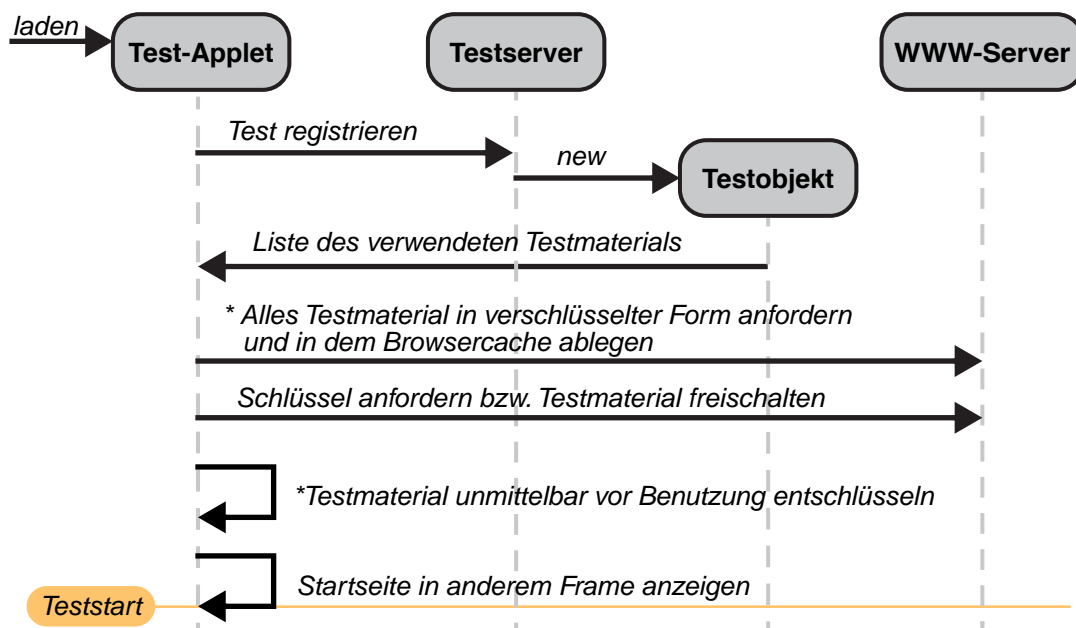


Abbildung 60. Auslieferung von Testmaterial

Ein Lösungsmöglichkeit wäre es, die Funktionalität zum Entschlüsseln zu einem Bestandteil des Testapplets zu machen. Der Testserver würde dann für jeden Test zufällig¹ einen Schlüssel auswählen und das Testmaterial mit diesem Schlüssel verschlüsseln. Das Testapplet fordert diesen Schlüssel erst unmittelbar, bevor es mit den Entschlüsseln des Lernmaterial beginnt, an. Weil es nur darauf ankommt, das Testmaterial solange vor dem Schüler geheimzuhalten, bis das gesamte Testmaterial dem Schüler übermittelt wurde, kann man ohne weiteres eine symmetrische Chiffre verwenden. Die Schlüssellänge muß nur so lang sein, daß sie ausreichenden Schutz während des Downloadzeitraums bietet.

Auch das in Abschnitt „7.2 Umsetzungskonzept einer sicheren Lernumgebung“ vorgestellte Umsetzungskonzept für eine sichere Lernumgebung stellt einen Mechanismus zur Entschlüsselung von verschlüsselten Dokumenten zur Verfügung. Dieser Mechanismus greift ideal auch für Testmaterial. Da er bereits transparent in das Betriebssystem integriert ist, entfällt der Aufwand, die Entschlüsselung als Bestandteil des Testapplets zu realisieren. Dabei ist sicherzustellen, daß der Schüler beim Herunterladen des verschlüsselten Testmaterials keine Zugriffsrechte hat und daß das Testapplet, nachdem alles Testmaterial geladen worden ist, dafür Sorge trägt, daß dem Schüler die nötigen Zugriffsrechte eingeräumt werden².

Sichere Testauswertung

Das Testframework kombiniert die Sicherheit der serverseitigen Testauswertung mit den besseren technischen Möglichkeiten der clientseitigen Programmierung. Das wird durch folgende Aufgabenteilung erreicht: Das (clientseitige) Testmaterial ist verantwortlich für die Umsetzung aller Interaktionen und für die Erkennung der Testereignisse³, aber nicht für deren Interpretation. Damit lassen sich alle Möglichkeiten von HTML, Java und vor allem JavaScript für die Realisierung der Interaktionen und der Erkennung von Testereignissen ausschöpfen. Da auf der Clientseite keine wie auch immer geartete Bewertung der Testereignisse stattfinden darf, werden alle Testereignisse über das Testapplet an das zuständige Testobjekt auf der Serverseite weitergeleitet und von diesem interpretiert. Wie bereits zuvor erwähnt, erzeugt das Testframework beim Start des Tests für jeden Test ein eigenes Testobjekt. Während der Testphase enthält und verwaltet dieses Testobjekt den Testzustand. Wann immer ein Testereignis erkannt und weitergeleitet wird, aktualisiert das Testobjekt den aktuellen Zustand. Zusätzlich protokolliert das Testobjekt auch alle eingehenden Testereignisse in der sogenannten *Aktionsliste*. So kann die Testauswertung, die nach Abschluß der Testphase stattfindet, nicht nur den Testzustand am Ende der Testphase bewerten, sondern auch den gesamten Verlauf des Tests, der zu diesem Endzustand geführt hat. Da der Testzustand nur auf dem Server gehalten wird und der Server durch entsprechende Maßnahmen gegen Manipulationen von Seiten der Schüler geschützt werden kann, ist die Sicherheit der Testauswertung gewährleistet.

Unabdingbar für diese Art der Aufgabenverteilung ist, die relevanten Testereignisse so zu wählen, daß sie nicht bereits Interpretationen beinhalten. Würde man beispielsweise bei einem Multiple-Choice-Test als Testereignisse „Richtige Frage ausgewählt“ und „Falsche Frage ausgewählt“ verwenden, so würde jedes Testereignis bereits eine Interpretation der gegebenen Antwort beinhalten, und da der Code zur Generierung dieser Testereignisse Bestandteil des Testmaterials ist und somit für den Benutzer zugänglich ist, würde dies die Sicherheit der Testauswertung kompromittieren. Korrekterweise muß man für Multiple-Choice-Tests „Benutzer hat Antwort i ausgewählt“ als Testereignis verwenden (siehe auch Abschnitt „9.3.1 Erstellen und Hinzufügen neuer Testklassen“ auf Seite 178).

Es ist spezifisch für jede Art von Test, wie sich der Testzustand repräsentieren läßt, was relevante Testereignisse sind und wie diese den Testzustand beeinflussen. Daher muß das in der jeweiligen Testklasse definiert werden. Dazu können im Testframework von einer Testklasse folgende abstrakte Methoden überschrieben werden:

- ▶ *evalAction()*: Diese Methode wird vom Testframework immer aufgerufen, sobald während der Durchführung des Tests ein relevantes Testereignis erkannt wurde. Diese Methode realisiert die Reaktion des Tests auf das Auftreten eines Testereignisses.
- ▶ *evalTest()*: Diese abstrakte Methode wird vom Framework nach Beendigung des Tests aufgerufen und ist zuständig für die Bewertung des Tests.

Durch das geeignete Überschreiben dieser beiden Methoden kann der Testklassenautor die Testauswertung realisieren. Er muß auf jeden Fall die Methode *evalTest()* realisieren, die die Bewertung des Tests übernimmt.

-
1. Bei Verwendung eines globalen Schlüssels wäre die Sicherheit kompromittiert, wenn dieser einmal geknackt oder ausgespäht wäre.
 2. Das bedeutet, das Testapplet informiert das Testobjekt auf dem Testserver, daß alles Testmaterial vorhanden ist. Das Testobjekt kontaktiert dann das Key Center und veranlaßt die Änderung der Zugriffsrechte. Damit wird das Testmaterial für den Schüler zugänglich. Das Testobjekt informiert das Testapplet, welches dann mit der Darstellung der Startseite beginnt. Aus Gründen der Sicherheit muß das Testobjekt und nicht das Testapplet die Freischaltung des Testmaterials veranlassen, da man nur beim Testobjekt sicher sein kann, daß es nicht vom Schüler manipuliert werden kann.
 3. Ein Testereignis kann eine Benutzeraktion sein, das Eintreten einer bestimmten Situation oder auch der Ablauf eines Timers.

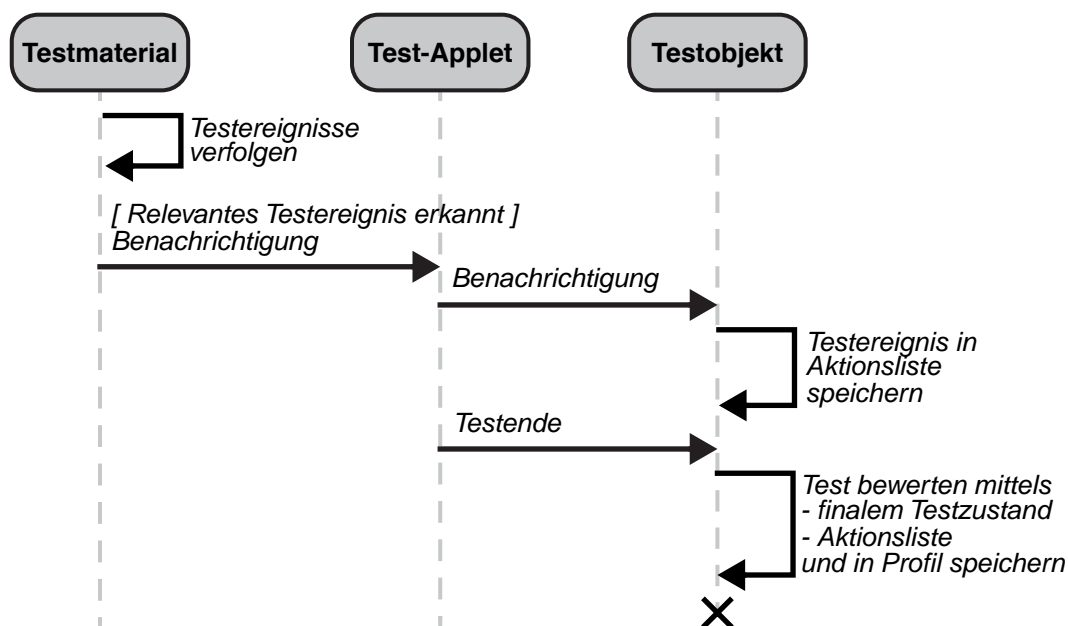


Abbildung 61. Sichere Testauswertung

Für die einfachste Form der Bewertung, z.B. wenn es nur gilt den Endzustand auszuwerten, ist es ausreichend nur diese Methode zu überschreiben. Da alle Testereignisse mitprotokolliert werden, kann in `evalTest()` auch auf diese Information zurückgegriffen werden und so der gesamte Kursverlauf bewertet werden. Durch das Überschreiben der Methode `evalAction()` kann ein Teil der Bewertung auch gleich zu dem Zeitpunkt durchgeführt werden, an dem das Ereignis auftritt. Dies kann in einigen Fällen einfacher sein als eine Gesamtauswertung nach Testende, der Hauptgrund für die Existenz dieser Methode ist jedoch, daß sich mit ihr semantisches Feedback realisieren läßt, ohne die Sicherheit zu beeinträchtigen (siehe Abschnitt „Erzeugung von Feedback“ auf Seite 163). Das Mitprotokollieren der erkannten Testereignisse in der Aktionsliste ist vollständig in der Basisklasse implementiert, so daß alle Testklassen dieses Verhalten erben.

Zuverlässige Zeitüberwachung

Auch bei der Zeitüberwachung kombiniert das Testframework die Sicherheit einer serverseitigen Realisierung mit der Exaktheit der clientseitigen Zeitüberwachung. Auf der Serverseite führt der Testserver Buch, wann ein Test gestartet wurde und wieviel Zeit noch für die Bearbeitung eines Tests zur Verfügung steht. Ist diese Zeitspanne abgelaufen, ohne daß der Test auf der Clientseite abgebrochen wurde, dann initiiert der Testserver den Abbruch. Aber dies sollte eher die Ausnahme als die Regel sein. Denn normalerweise sollte die Zeitüberwachung vollständig auf der Clientseite stattfinden und der Testserver nur dann eingreifen, wenn es Probleme gibt.

Die Zeitüberwachungsfunktionalität ist auf der Clientseite Bestandteil des Testapplets. Während des Start eines Tests erfragt das Testapplet vom Testserver, welche Zeitspanne für die Bearbeitung zur Verfügung steht. Hierbei gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Im Falle eines Tests ohne Zeitlimit antwortet der Testserver mit einer negativen Zahl, und die Zeitüberwachung im Testapplet wird deaktiviert.
2. Bei einem Test mit einem Zeitlimit übermittelt der Testserver dem Testapplet dieses Limit als die Zahl der Sekunden, die dem Schüler noch zur Verfügung stehen. Mit diesem Wert initiiert der Testserver die Anzeige der verbleibenden Zeit und einen internen Timer. Dieser interne Timer sorgt dafür, daß das Testapplet nach Ablauf dieser Zeit den Test beendet.

Bricht ein Schüler einen Test ab, dann geht nur der Zustand der Testdarstellung und der Zustand des Testapplets verloren, nicht aber die Information auf dem Testserver. Wenn ein Schüler also einen Test abbricht, anstatt ihn richtig zu beenden und ihn dann erneut startet, dann ist die Information, daß der Schüler den Test begonnen hat, noch immer auf dem Testserver verfügbar. Der Testserver erkennt dann, daß der Test bereits läuft und kann auch feststellen, wieviel Zeit gemessen vom ursprünglichen Startzeitpunkt noch zur Verfügung steht, und diese verbleibende Zeit wird an das Testapplet zurückgegeben. Somit wird verhindert, daß sich ein Schüler durch erneutes Starten eines Tests und das damit verbundene erneute Laden des Testapplets und des Testmaterials zusätzliche Zeit erschleichen kann. Bricht der Schüler einen Test ab und kommt es innerhalb des Testlimits zu keinem Neustart mehr, so wird der Test auf dem Server beendet und ausgewertet.

Behandlung von Testereignissen

Das Erkennen von Testereignissen und deren Behandlung sind zentrale Aufgaben bei der Testdurchführung. Sie zeigen das Eintreten von Situationen auf, die für den Test von Bedeutung sind und daher auch eine Änderung des Testzustands und im allgemeinen auch der Testdarstellung nach sich ziehen. Testereignisse resultieren vorwiegend aus den Aktionen des Schülers, aber auch

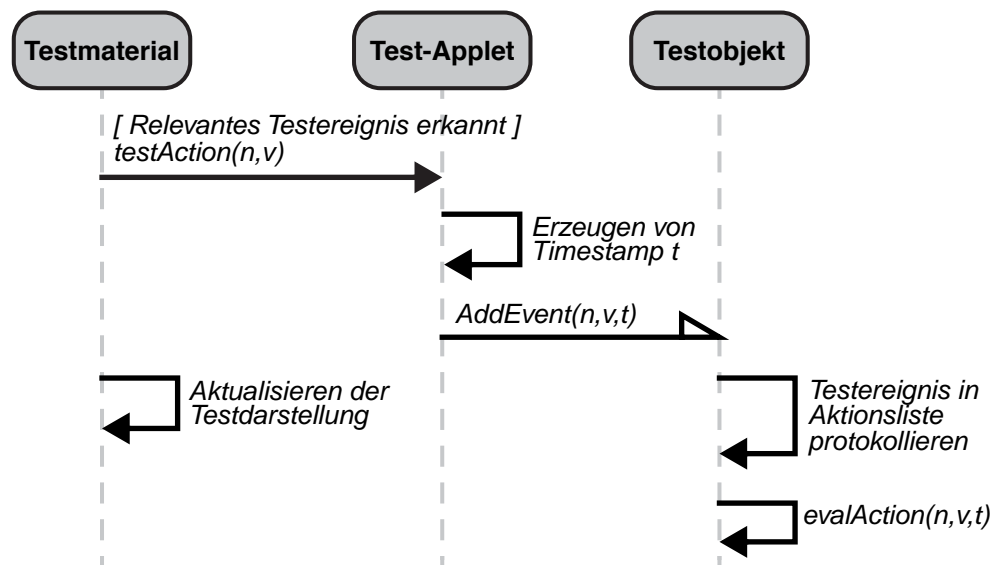


Abbildung 62. Behandlung eines Testereignisses

andere Ereignisse können relevant sein, wie z.B. Timeouts oder, falls der Test die Steuerung einer Simulation beinhaltet, das Auftreten von bestimmten Simulationszuständen. Wie in Abschnitt „8.4.4 Behandlung von Benutzeraktionen“ auf Seite 157 dargelegt, entspricht die Bewertung eines Tests der Auswertung aller während des Tests aufgetretenen Testereignisse. Das Testframework stellt daher einen Mechanismus zur Behandlung von Testereignissen zur Verfügung. Dieser Mechanismus sorgt dafür, daß beim Auftreten eines Testereignisses der Testzustand aktualisiert wird und daß für die spätere Auswertung alle Testereignisse protokolliert werden. Aus Gründen der Sicherheit erfolgt die Interpretation eines Ereignisses auf der Serverseite, ebenso die Protokollierung der Testereignisse.

Welche Ereignisse für einen Test relevant sind und in welcher Weise sie den Testzustand verändern, ist spezifisch für jeden Test. Das Testframework definiert eine generische Repräsentation für Testereignisse und einem allgemeinem Mechanismus zur Behandlung solcher Testereignisse (siehe Abbildung 62). Im Testframework werden alle Testereignisse als ein Paar (Name, Wert) repräsentiert. Es ist die Aufgabe des Testmaterials, relevante Ereignisse zu erkennen und sie über eine generische Schnittstelle an das Testapplet weiterzugeben. Nachdem die Weitergabe erfolgt ist, aktualisiert das Testmaterial, falls nötig, die Testdarstellung und wartet auf weitere Testereignisse. Das Test-applet erzeugt für dieses Ereignis einen neuen Timestamp und übermittelt das Paar (Name, Wert) zusammen mit dem Timestamp an das zuständige Testobjekt auf dem Server. Dort findet dann asynchron die eigentliche Behandlung des Ereignisses statt. Dabei wird als erstes das Paar (Name, Wert) und der zugehörige Timestamp in einer besonderen Liste, der sogenannten Aktionsliste, abgelegt. Danach erfolgt die Aktualisierung des Testzustands.

Während wegen der generischen Repräsentation der Testereignisse das Ablegen in der Aktionsliste unabhängig von der jeweiligen Testklasse ist, ist es testspezifisch, was der Testzustand ist und wie Testereignisse den Zustand verändern. Daher ist der gesamte Mechanismus inklusive der Ablage in der Aktionsliste in der Basisklasse für die Tests definiert, und alle Testklassen erben diese Implementierung. Die Testklassen müssen lediglich die virtuelle Methode `evalAction()` überschreiben, die die Aktualisierung des Testzustandes übernimmt.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß die Aktualisierung der Testdarstellung unabhängig von dem Testzustand erfolgt. Damit ist gewährleistet, daß der Schüler keinen Zugriff auf die im Testzustand enthaltene semantische Information hat.

Erzeugung von Feedback

Aus Implementierungssicht ist Feedback quasi die Umkehrung der Behandlung von Testereignissen. Genau wie Testereignisse ist Feedback testspezifisch. Daher stellt das Testframework auch hier nur einen allgemeinen Mechanismus zur Verfügung, den die Testklasse und das Testmaterial dann um die testspezifischen Details ergänzen müssen. Die Basistestklasse stellt eine Methode `feedback()` zur Verfügung, die die Übermittlung eines Feedbacks an den Client übernimmt. Die Testklasse muß daher nur die Logik zur Entscheidung, ob und welches Feedback nötig ist, implementieren und dann gegebenenfalls die Methode `feedback()` aufrufen, die die Realisierung übernimmt. Die Entscheidung Feedback zu geben kann erfolgen aufgrund des aktuellen

Testzustands, als direkte Reaktion auf ein Testereignis (in der Methode *evalAction()*) oder aufgrund sonstiger Kriterien. Wie auch die Testereignisse werden Feedbackaktionen durch ein Paar (Name, Wert) repräsentiert. Dieser Name und der Wert werden als Argumente an die Methode *feedback()* übergeben und dann über die RMI-Verbindung an das Testapplet übermittelt. Beim Erhalt einer Feedbackanforderung überprüft das Testapplet über die browserinterne JavaScript-Schnittstelle, ob das Testmaterial eine JavaScript-Funktion mit Namen *feedback()* definiert. Ist dies nicht der Fall, so wird die Feedbackanforderung ignoriert, anderenfalls ruft das Testapplet diese Funktion auf mit dem Paar (Name, Wert) als Argument. Es ist somit die Aufgabe des Testautors, diese Funktion so zu implementieren, daß er anhand der Argumente entscheiden kann, welche Feedbackaktion angefordert wurde und daß diese Feedbackaktion dann auch ausgeführt wird. Abbildung 63 zeigt diesen Feedbackmechanismus:

Um die Sicherheit des Feedbacks zu gewährleisten, müssen bei der Implementierung der Feedbackfunktion alle semantisch relevanten Informationen aus den Argumenten berechnet werden und nicht im Code der Feedbackfunktion integriert sein, wo sie für den Schüler zugänglich sind. Ein Beispiel zur Verdeutlichung: Besteht das Feedback für einen Test aus dem Anzeigen eines von mehreren Texten, dann dürfen die Texte nicht im Testmaterial abgelegt und in der Feedbackanforderung nur die Nummer des anzuzeigenden Textes

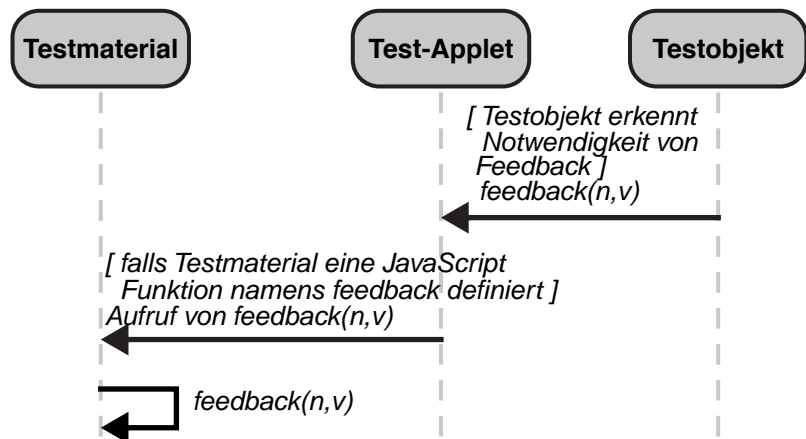


Abbildung 63. Erzeugung von semantischem Feedback

übermittelt werden. Auf diese Art und Weise würde die Testklasse zwar immer noch entscheiden, wann welches Feedback zu geben ist, der Schüler könnte aber durch Inspektion des Sourcecodes alle möglichen Feedbacktexte ermitteln und daraus Rückschlüsse auf die richtige Lösung ziehen. Besteht der Feedbackcode im Testmaterial aber lediglich aus dem Code zum Anzeigen eines beliebigen Strings, der als Argument von der Testklasse übermittelt wird, dann bringt die Kenntnis des Codes dem Schüler keine Vorteile, da alle semantisch relevanten Informationen nur dann auf der Clientseite verfügbar sind, wenn dies notwendig ist.

8.5.3 Realisierung der Funktionsblöcke

Tabelle 23 zeigt auf, wie die in Abschnitt „Funktionsblöcke beim Testen“ auf Seite 151 eingeführten abstrakten Funktionsblöcke im Testframework realisiert sind.

8.5.4 Anbindung an ein Lernsystem

Das Testframework wurde so entworfen, daß es sich möglichst in jedes Lernsystem integrieren läßt. In diesem Kontext wird auch ein normaler WWW-Server als ein Lernsystem betrachtet. Aber auch die Integration in ein Lernsystem wie IDEALS-MTS ist möglich. Die Aufgabenverteilung ist dabei wie folgt:

Das Lernsystem ist zuständig für:

- ▶ Ablage und Auslieferung aller Lernmaterialien, inklusive der Testmaterialien
- ▶ Ablage und Pflege der Benutzerprofile
- ▶ Alleinige Ablaufsteuerung der nicht testrelevanten Lernmodule
- ▶ Aktivierung des Testframeworks, sobald ein Test gestartet wird

Das Testframework hat die Aufgaben:

- ▶ die Auslieferung von Testmaterials so zu koordinieren, daß die Verfügbarkeit aller Testmaterialien für einen Test zu einen bestimmten Zeitpunkt sichergestellt ist, aber der Schüler vor diesem Zeitpunkt keinen Zugriff auf die Testmaterialien hat.
- ▶ Verwaltung aller laufenden Tests. Dies beinhaltet neben einer allgemeinen Verwaltung, welcher Schüler gerade welchen Test bearbeitet, auch für jeden einzelnen Test die Auswertung der Testereignisse zur Aktualisierung des Testzustandes und die Feedbackerzeugung.
- ▶ Bei zeitbeschränkten Tests stellt das Testframework auch die rechtzeitige Beendigung des Tests sicher.
- ▶ Auswertung des Tests an dessen Ende und Übermittlung des Testergebnisses an das Lernsystem zwecks Übernahme in das Benutzerprofil des jeweiligen Schülers.

Funktionsblock		clientseitig	serverseitig
organisatorische	Aufsicht	Das Testapplet stellt eine genaue Zeitmessung bereit und macht diese dem Schüler sichtbar, es stellt auch sicher, daß jeder Start eines Tests auch beim Testserver registriert wird, und auf Verlangen des Testservers oder bei Zeitüberschreitungen beendet es auch den Test.	Der Testkoordinator nimmt die Testanforderungen entgegen und ist verantwortlich für das Erzeugen der Testobjekte. Bei jeder Testregistrierung übermittelt er dem Test-applet das Zeitlimit für den aktuellen Test. Dazu überprüft er, ob bereits ein derartiges Testobjekt für diesen Benutzer registriert ist.
	Testablage		Die Funktionalität zur Ablage des Testmaterials ist nicht Bestandteil des Testframeworks sondern muß von der Lernumgebung bereitgestellt werden. Der Testkoordinator implementiert hierfür ein Interface, mit dem auf Testmaterial zugegriffen werden kann.
	Testdarstellung	Die Darstellung des Testmaterials erfolgt in einem eigenem Frame und realisiert die Erkennung von relevanten Testereignissen.	
	Benutzerprofilierung		Das Testframework realisiert selbst keine Funktionalität für das Benutzerprofil. Stattdessen implementiert der Testkoordinator ein Interface, mit dem auf die Benutzerprofilfunktionalität der Lernumgebung zugegriffen werden kann.
testspezifische	Testzustand		Das Testobjekt hält den Zustand. Aktualisierung erfolgt aufgrund der Testereignisse. Alle Testereignisse werden protokolliert.
	Feedback	Das Testapplet ist zuständig für die Entgegennahme der Feedbackanforderung. Die eigentliche Realisierung des Feedbacks erfolgt durch das Testmaterial.	Das Testobjekt entscheidet, wann und welcher Feedback gegeben werden soll. Allerdings stößt es das Feedback nur an.
	Bewertung		Die Bewertung des Tests erfolgt nach dem Ende des Test durch das Testobjekt. Diese Bewertung erfolgt anhand des finalen Zustands und/oder der mitprotokollierten Testereignisse.

Tabelle 23. Umsetzung der abstrakten Funktionsblöcke im Testframework

Zur Durchführung seiner Aufgaben benötigt das Testframework Zugriff sowohl auf das Testmaterial als auch auf das Benutzerprofil. Aber sowohl die Ablage des Testmaterials als auch die Verwaltung des Benutzerprofils ist Aufgabe des Lernsystems (siehe Abbildung 59). Je nach verwendetem Lernsystem werden die Materialablage und das Benutzerprofil unterschiedlich realisiert sein. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, die Implementierung der Testklassen unabhängig von der jeweiligen Realisierung der Materialablage und des Benutzerprofils zu halten. Im Testframework wurde dies dadurch realisiert, daß der Testkoordinator abstrakte Methoden für den Zugriff auf das Testmaterial und das Benutzerprofil bereitstellt. Bei diesen Methoden handelt es sich um:

- *getTest(String testID, String userID)*. Diese Methode ist zuständig für das Anlegen eines neuen Testobjekts auf den Testserver. Der zu startende Test wird durch eine ID repräsentiert. Diese Methode ermittelt anhand dieser ID, welcher Test gestartet werden soll, und erzeugt ein neues Testobjekt von der entsprechenden Testklasse. Der kritische Punkt dabei ist die Initialisierung des Tests. Dazu muß diese Methode anhand der TestID die Initialisierungsdaten aus der Materialablage besorgen und an das neuangelegte Testobjekt übergeben. Die Übergabe der Initialisierungsdaten erfolgt in Form eines abstrakten Buffered-Reader-Objektes mit der Methode *initializeTest()* der Testklasse. Daher muß nur der Code, mit dem in

`getTest()` die Initialisierungsdaten als `BufferedReader` verfügbar gemacht werden, an die spezielle Implementierung der Materialablage angepaßt werden.

- ▶ `putProfile(String userID, String testID, String profileInformation)`. Mit dieser Methode wird dem Benutzerprofil des Benutzers ein Eintrag für einen bestimmten Test mit der angegebenen Information hinzugefügt.

Die Integration des Testframeworks in ein Lernsystem besteht darin, die Implementierung dieser beiden Methoden des Testkoordinators an das jeweilige Lernsystem anzupassen. Das Testmaterial und die Testklassen sind von dieser Anpassung jedoch nicht betroffen und können mit jedem Lernsystem verwendet werden.

Der zweite Punkt, der für die Integration des Testframeworks von Bedeutung ist, ist die Frage, wie sich ein Test starten läßt. Das Testframework bietet eine Reihe von Möglichkeiten:

- ▶ Das Lernsystem sorgt dafür, daß eine HTML-Seite geladen wird, die das Testapplet enthält. Die `TestID` und die `UserID` werden als Appletparameter in die HTML-Seite eingebettet.
- ▶ Das Testapplet läßt sich über eine URL laden. Dabei können die `TestID` und die `UserID` in der URL als Argument mit übergeben werden (z.B. `http://tstsrv.igd.fhg.de/Test?TestID=MC005,UserID=8753`). Damit wird nach dem Laden des Testapplets automatisch der gewünschte Test für den angegebenen Benutzer gestartet.
- ▶ Die beiden vorherigen Methoden bieten sich an, wenn das Testapplet nicht permanent auf der Clientseite geladen ist, sondern nur bei Bedarf geladen werden soll. Verfügt das Lernsystem über eine eigene clientseitige Komponente zur Kurssteuerung, die permanent vorhanden sein muß, dann bietet es sich an das Testapplet in diese Komponente zu integrieren. Deshalb verfügt das Applet auch über eine Methode `startTest()`, mit der man einen beliebigen Test starten kann.

8.6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde aufgezeigt, welche Vorteile mit einer WWW-basierten Lernerfolgskontrolle verbunden sind und wie sich auch im WWW eine sichere Lernerfolgskontrolle durchführen läßt. Es wurde untersucht, welche Funktionalitäten für die Lernerfolgskontrolle notwendig sind, und ein allgemeines Modell für Tests entwickelt. Dann wurde untersucht, wie sich die Testfunktionalitäten mit den Mitteln des WWW realisieren lassen. Dabei hat sich gezeigt, das das WWW nicht über alle benötigten Funktionalitäten verfügt. Es wurde daher ein Framework für die Lernerfolgskontrolle entwickelt, das die fehlenden grundlegenden Testfunktionalitäten bereitstellt. Es wurde im Detail beschrieben, wie sich mit diesem Framework die sichere und garantierte Auslieferung von Testmaterial an den Schüler, die sichere Testauswertung, die zuverlässige Zeitüberwachung, die Behandlung von Testereignissen und die Erzeugung von Feedback realisieren lassen.

9.1 IDEALS MTS

Die Entwicklung des IDEALS MTS war sicherlich eine der Hauptaktivitäten innerhalb des EU-Projektes IDEALS. Aber zu den Zielen des Projekts gehörte auch der Aufbau eines Netzwerks von lokalen Trainingscenters (LTCs), die auf der Basis des MTS gemeinsam Kursmaterial entwickeln, Lernmaterial austauschen und Training anbieten. Daher haben bis auf wenige Ausnahmen alle Projektpartner eigene LTCs eingerichtet, Kurse erstellt und angeboten. Das Projekt war von Beginn an darauf ausgerichtet, die Ergebnisse in der Praxis anzuwenden und so verlässlicher beurteilen zu können.

9.1.1 Einsatz des MTS im Verlauf des Projekts IDEALS

Der zeitliche Verlauf war dabei folgender: Nachdem 1996 das IDEALS MTS entwickelt wurde, stand 1997 vor allem die Erprobung und Anwendung des MTS im Vordergrund. In einem ersten Schritt wurde anhand von kleinen Beispielen gezielt die Systemfunktionalität verifiziert. Parallel dazu erfolgte der Aufbau der benötigten Infrastruktur. Nachdem diese Schritte erfolgreich abgeschlossen wurden, folgte als nächster Schritt die Demonstration unter praxisrelevanten Bedingungen. Damit sollte die Tragfähigkeit der IDEALS zugrunde liegenden Konzepte verifiziert werden. Aber auch Implementierungsfehler und Schwachpunkte in der Realisierung des MTS konnten so gefunden und beseitigt werden. Als Ergebnis hatte man zum Ende des Projekts sowohl eine verbesserte Version des MTS, aber auch einen Grundstock an Lernmaterial und ein Netzwerk aus LTCs, die über die entsprechende Infrastruktur verfügten.

Für das Verständnis der folgenden Ausführungen muß noch der Begriff *Training Service Provider* oder kurz TSP eingeführt werden. In IDEALS wurde unterschieden zwischen einem LTC und einem TSP. Gemäß Definition 16 (siehe Seite 59) gehört zu den Aufgaben eines LTC nicht nur die Bereitstellung der (technischen und menschlichen) Ressourcen für das Lernen, sondern auch das Erstellen von Lernmaterial. In der Praxis wird es jedoch auch Trainingsprovider geben, die nicht selbst Lernmaterial erstellen, sondern lediglich die Ressourcen bereitstellen und verwalten. So kann z.B. ein Trainingsprovider als Dienstleistung für andere Organisationen ein MTS-System betreiben und Lehrer und Tutoren bereitstellen. In IDEALS wird eine solche MTS-Installation als TSP bezeichnet.

Definition 23: Mit *Trainings Service Provider (TSP)* wird ein LTC bezeichnet, das Lernmaterial nicht selbst entwickelt, sondern nur Lernmaterial von anderen LTCs übernimmt. Ein TSP stellt lediglich die technischen und menschlichen Lernressourcen bereit und übernimmt die mit dem Lernen verbundenen administrativen Aufgaben.

Um den unterschiedlichen Anforderungen und Gegebenheiten beim Lernen in einem universitären Umfeld und der Weiterbildung in kleineren und mittleren Unternehmen besser Rechnung tragen zu können, wurde in IDEALS zwischen zwei entsprechenden Anwendungsszenarien unterschieden. Für jedes der beiden Anwendungsszenarien gab es in IDEALS eigenständige Aktivitäten für die Erprobung und Anwendung des MTS.

SME-Szenario

Ziel des SME¹-Szenarios war, den Einsatz des MTS zur Realisierung der Aus- und Weiterbildung in kleineren und mittleren Unternehmen zu erproben und zu demonstrieren. Das besondere an diesem Szenario ist, daß das Vorhandensein von Lernmaterial in der jeweiligen Landessprache von essentieller Bedeutung ist und die Schüler vielfach auch nicht vertraut sind im Umgang mit dem Computer. Daher kommt der einfachen Bedienbarkeit und einer möglichst intuitiven Gestaltung des Lernmaterials eine besondere Bedeutung zu. Aufgrund der unterschiedlichen thematischen Interessensgebiete der einzelnen Partner und deren Kooperationspartner wurden mehrere individuelle Kurse realisiert. Tabelle 24 gibt einen groben Überblick über die vier in Angriff genommenen großen Themengebiete und die jeweils beteiligten Partner.

Wegen der Diversität der Interessensgebiete lag im SME-Szenario der Schwerpunkt des Interesses mehr auf der Auslotung der Systemmöglichkeiten und dem Aspekt Benutzerakzeptanz als auf dem Aspekt Wieder- und Mehrfachverwendung von Lernmaterial. Dennoch wurden diese Aspekte nicht vernachlässigt. So hat das CCG (siehe unten) in seinem Kurs „Telematics Usage“ nur 3,5 der insgesamt 6 Stunden Lernmaterial selbst erzeugt. Die anderen 2,5 Stunden Lernmaterial wurden von den Partnern EUROCOM und INESC übernom-

1. Das Kürzel SME leitet sich aus dem Englischen „Small and Medium Enterprises“ ab.

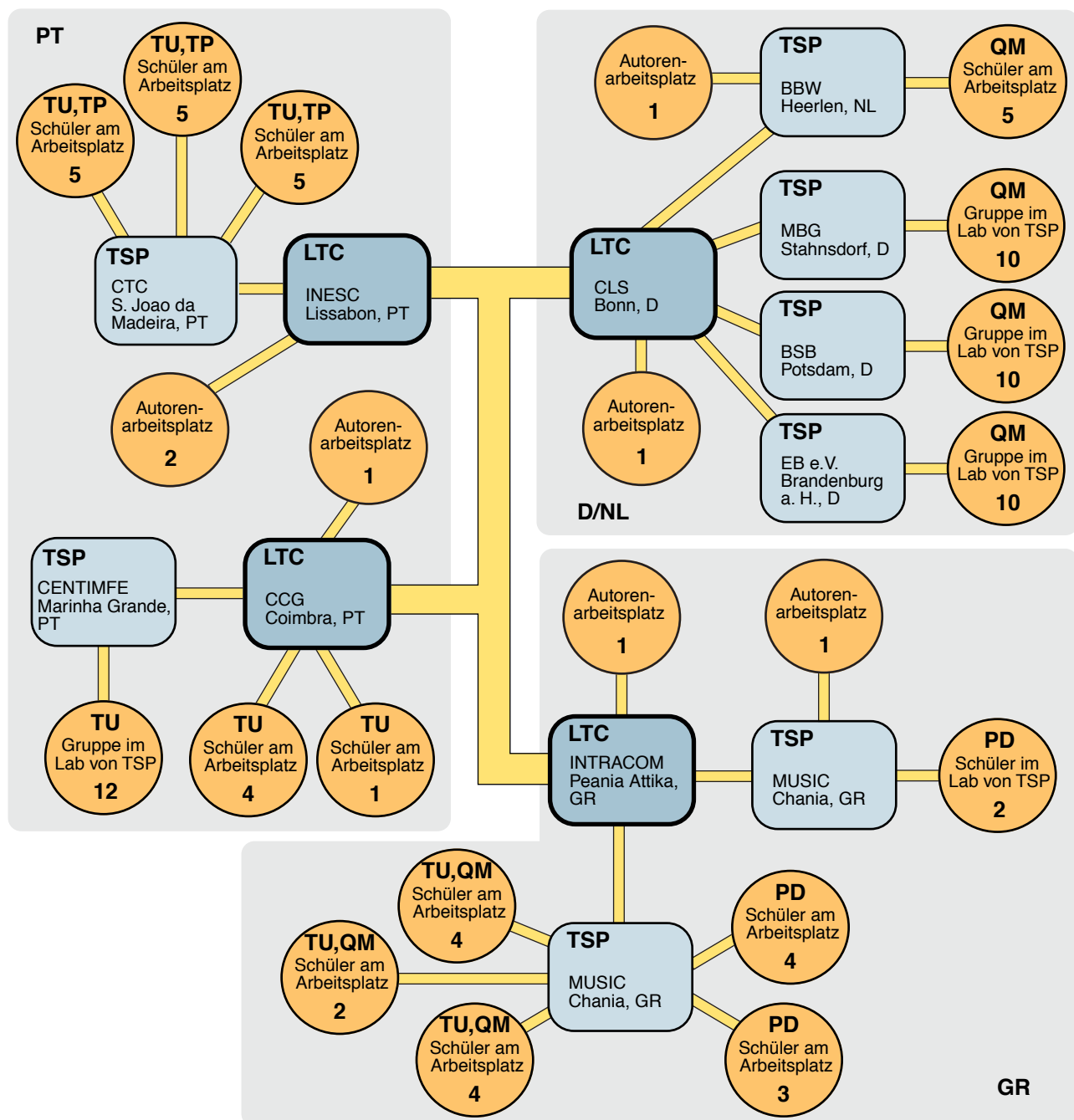


Abbildung 64. SME-Szenario

Themengebiet	Partner	Umfang
Telematics Usage (TU)	Centro de Computação Grafica (CCG), Portugal	6 h
	EUROCOM EXPERTISE S.A. (EUROCOM), Griechenland	4 h
	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC), Portugal	2 h
Quality Management (QM)	Computer Lern Systeme GmbH (CLS), Deutschland und Open University of the Netherlands (BBW), Niederlande	2,5 - 3 h
	INTRACOM S.A. (INTRACOM), Griechenland	8 h
Parametric Design (PD)	Multimedia Systems Institute of Crete/Technical University of Crete (MUSIC/TUC), Griechenland	4 h
Times and Procedures (TP)	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC), Portugal	9 h

Tabelle 24. Erstelltes Lernmaterial im SME-Szenario

men und in den Kurs integriert. Einen anderen wichtigen Aspekt für die Wiederverwendung, die Anpassung an die jeweilige Landessprache, haben CLS und BBW dadurch erprobt und demonstriert, indem sie das Lernmaterial für ihren gemeinsam erstellten Kurs in drei Sprachen, Englisch, Deutsch und Holländisch, verfügbar gemacht haben.

Genauere Details zu den Kursen und dem erstellten Kursmaterial findet man in [79]. Das SME- Szenario umfaßte an die hundert MTS-Nutzer. Da die Schüler und die Trainingsprovider typischerweise unterschiedliche Institutionen mit eigener Netzwerkstruktur sind – oft auch räumlich getrennt –, findet man im SME-Szenario auch verstärkt TSPs. Die Zahl der Schüler verteilt sich etwa zu gleichen Teilen auf solche, die an ihrem Arbeitsplatz lernen und solche bei denen das Lernen in speziellen Trainingsräumlichkeiten stattfindet und so entkoppelt ist von der täglichen Arbeit. Abbildung 64 auf Seite 168 zeigt den Aufbau des SME-Szenarios.

In dieser Abbildung erkennt man, daß jedem LTC ein eigenständiger Unterbereich entspricht. Die Verbindung dieser separaten Unterbereiche erfolgt ausschließlich über die einzelnen LTCs.

IHE-Szenario

In dem IHE-Szenario – IHE steht für Institutes of Higher Education – wurde die Anwendung des MTS in einem universitären Umfeld erprobt. Beteiligt an diesem Szenario waren die Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC, Portugal), das Raahe Laboratory of Computer Engineering der Universität Oulu (RATOL, Finnland) und das Fachgebiet GRIS der Technischen Universität Darmstadt (GRIS, Deutschland). Das IHE-Szenario umfaßte circa 50 MTS-Arbeitsplätze und um die 200 Benutzer. Es wurde zwischen vier unterschiedlichen Kategorien von Arbeitsplätzen unterschieden. Jede dieser Kategorien steht für eine andere Art der Nutzung, und daher unterscheiden sie sich auch, was ihre Randbedingungen angeht:

- ▶ Ein Autorenarbeitsplatz ist ein Arbeitsplatz, auf dem neben dem MTS auch all die Hardwareausstattung (Videokamera, Scanner, Mikrofon usw.) und die Software verfügbar ist, die zum Erstellen, Bearbeiten und Registrieren von Lernmaterial benötigt wird. In der Regel ist ein Autorenarbeitsplatz daher ein gut ausgestatteter leistungsstarker Rechner und verfügt auch über eine gute Netzwerkanbindung an das LTC.
- ▶ Ein Lernarbeitsplatz im LTC zeichnet sich dadurch aus, daß er speziell für das Lernen mit dem MTS eingerichtet wurde. Was seine Ausstattung angeht, so verfügt er zwar über Komponenten, die notwendig sind, um die unterschiedlichen Multimediaformate in hoher oder zumindestens guter Qualität wiederzugeben – also über Lautsprecher, gute Sound- und Graphikkarten, eventuell auch über ein Mikrofon oder gar über eine Videokamera –, aber er verfügt nicht über spezielle Hardware oder Software für das Erstellen von Lernmaterial¹. Ein derartiger Lernarbeitsplatz befindet sich meist in einem besonderen Trainingslab. Dort ist auch sichergestellt, daß er genau wie ein Autorenarbeitsplatz über eine gute Netzwerkanbindung zum LTC verfügt. An einem solchen Lernarbeitsplatz kann die ganze Bandbreite an verfügbaren Multimediaformaten verwendet werden, ohne daß man sich Gedanken über Netzwerkkapazitäten oder Übertragungskosten machen müßte. Ein wesentlicher Punkt ist auch, daß ein Lernarbeitsplatz der administrativen Kontrolle des Trainingsproviders unterliegt. Dieser kennt daher genau die Möglichkeiten und Beschränkungen der verfügbaren Arbeitsplätze und kann auch sicherstellen, daß die Arbeitsplätze stets korrekt konfiguriert sind.
- ▶ Rechner auf dem Campus sind alle normalen Arbeitsplatzrechner im Intranet des LTCs bzw. der Organisation, die auch das LTC betreibt, deren Hauptzweck nicht das Lernen ist. Dazu gehören die Arbeitsplatzrechner aller Mitarbeiter und alle Rechner in öffentlichen Rechnerpools, auf denen das MTS verfügbar ist². Es gibt im Regelfall auch hier keinerlei Probleme mit der Netzwerkanbindung. Was allerdings die Software- und Hardwareausstattung angeht, so ist diese viel heterogener als bei den Lernarbeitsplätzen, und eventuell lassen sich bestimmte Multimediaformate gar nicht oder nur in unzureichender Qualität wiedergeben. Will man garantieren, daß ein Kurs auf allen Rechnern im Campus ohne Probleme darstellbar ist, dann muß man sich auf den kleinsten gemeinsamen Nenner der Möglichkeiten der Rechner beschränken.
- ▶ Soll ein Schüler zu Hause auf seinem Privatrechner MTS einsetzen können, dann verschärft sich das Problem mit der Heterogenität der Soft- und Hardware, da es keine organisationsweite Administration mehr gibt, die zu einer gewissen Vereinheitlichung führt. Allerdings sind in der Praxis – insbesondere bei Studenten – die Privatrechner, was die Leistungsfähigkeit und Multimediafähigkeiten angeht, oft besser ausgestattet als die normalen Arbeitsplatzrechner. Allerdings ist es keine triviale Aufgabe, ein reibungsloses Zusammenarbeiten des LTC mit allen unterschiedlichen Hardware- und Softwarekonfigurationen zu gewährleisten. Das wichtigste Problem bei dem Einsatz von Privatrechnern ist jedoch die Netzanbin-

1. Da leistungsfähige Graphik- und Soundkarten immer mehr zum Standard bei Rechnern werden und nicht mehr teuer zu bezahlende Extras sind, verliert das Problem der Multimediafähigkeit immer mehr an Bedeutung.

2. also im Prinzip alle Mitarbeiterrechner, die über einen WWW-Browser verfügen

derung. Da die Anbindung zumeist über das im Vergleich zu einem Intranet langsame öffentliche Netz erfolgt, spielen Netzwerkkapazitäten und Übertragungszeiten eine wichtige Rolle, ebenso wie die Übertragungskosten. Dies erfordert Enthaltsamkeit in Bezug auf Medien, die hohe Datenmengen beinhalten.

Abbildung 65 zeigt den Aufbau des IHE-Szenarios. Die Stärke der Verbindungslinien deutet die verfügbare Netzwerkbandbreite an.

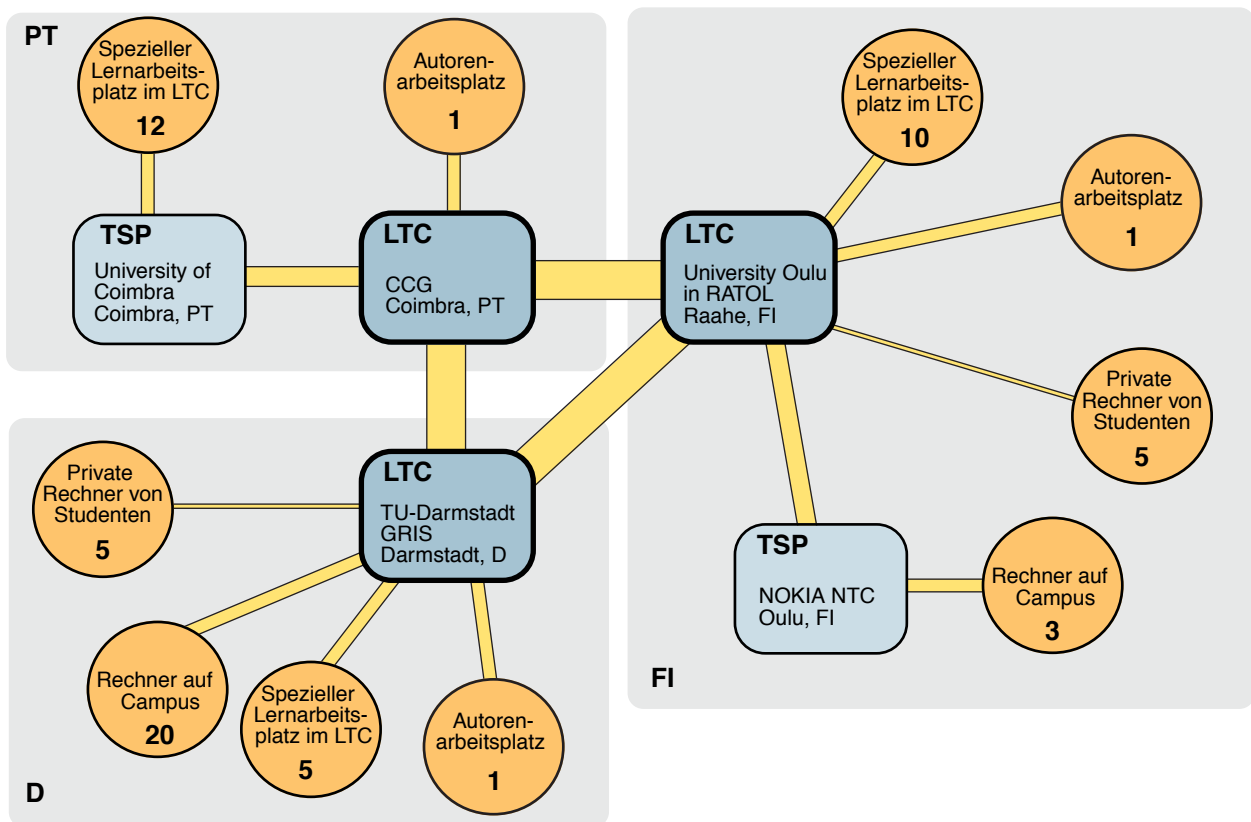


Abbildung 65. IHE-Szenario

Im Gegensatz zu dem SME-Szenario war das IHE-Szenario konsequent auf Kooperation bei der Erstellung des Lernmaterials und die Wiederverwendung des Lernmaterials ausgerichtet. Dies war in diesem Szenario möglich, weil:

- ▶ man in diesem Szenario davon ausgehen konnte, daß alle potentiellen Studenten der englischen Sprache soweit mächtig sind, daß die Verwendung von englischsprachigem Lernmaterial keine Schwierigkeit darstellt. Wünschenswert wäre es natürlich gewesen, das Lernmaterial in der jeweiligen Landessprache zur Verfügung zu haben. Dazu hätte man das gemeinsam verwendete Lernmaterial in die jeweilige Landessprache übersetzen müssen, was einen beträchtlichen zusätzlichen Arbeitsaufwand zur Folge gehabt hätte. Um die nur beschränkt zur Verfügung stehenden Entwicklungsressourcen¹ möglichst optimal auszunutzen, wurde einer möglichst umfangreichen Abdeckung der Inhalte der Vorzug vor der Anpassung an die jeweilige Landessprache gegeben.
- ▶ alle beteiligten Universitätsgruppen aus dem Bereich Informatik kommen und es daher eine hinreichende Überschneidung in den zu vermittelnden Inhalten gab.

Die beteiligten Partner erstellten gemeinsam Lernmaterial zum Thema "Grundlagen der Computer Graphik" und setzten es auch in ihren Lehraktivitäten ein. Jeder der beteiligten Partner erstellte Lernmaterial für unterschiedliche Bereiche des Themas, das dann von den anderen Partnern genutzt werden konnte. So minimierte sich der Aufwand pro Partner für die Erstellung des notwendigen digitalen Lehr- und Lernmaterials erheblich. Gleichzeitig erfolgte an den verschiedenen Standorten eine Adaption des Lernmaterials an die lokalen Bedürfnisse², die sich aufgrund der Modularität des Lernmaterials immer nur auf Teilbereiche auswirkte. Um eine weitere Verbesserung der Effizienz in der Erstellung des Lernmaterials zu erreichen, war neben der Mehrfachverwendung und Wiederverwendung von Lernmaterial auch die Identifizierung und Verwendung von gemeinsamen Mustern (Templates) von Interesse. Was an Lernmaterial erstellt wurde und welche Muster und

1. Entwicklung hier im Sinn von „Erstellen von Lernmaterial“ und nicht im Sinn der technischen Entwicklung am MTS-System

2. Adaption bedeutete dabei vor allem Auswahl und Anordnung des Lernmaterials, das zum Einsatz kam.

Überlegungen diesem zugrunde liegen, wird im Detail in [77] und [78] beschrieben. Eine Analyse des MTS-Ansatzes und weitere allgemeine Betrachtungen findet man auch in [80] und [81].

Aus [77] stammt auch die in Abbildung 66 gezeigte graphische Darstellung der Wiederverwendung für das Lernmaterial und auch die Definition und die Zahlenwerte für den Wiederverwertungsfaktor MUF . Dieser gibt an, wie oft Lernmaterial im IHE-Szenario im Durchschnitt wiederverwendet wird. Wegen der beschränkten Entwicklungsressourcen war es den Partnern jedoch nicht möglich, genug hochqualitatives MTS-basiertes Lernmaterial zu erstellen, um ihre Lehraktivitäten¹ komplett mit hochqualitativem MTS-basiertem Lernmaterial zu realisieren. Daher hat jeder Partner seine Vorlesung realisiert als eine Mischung aus:

- ▶ *hochqualitativem MTS-basierten Lernmaterial*. Hier wurden die Vorstellungen von IDEALS betreffend Lernmaterial konsequent umgesetzt, d.h. es wurden die Möglichkeiten des MTS-Systems voll ausgenutzt. Wichtige Kriterien waren: hohe Qualität der inhaltlichen und pädagogischen Gestaltung, ein angemessenes Maß an „Learning by doing“ und Verwendung der Benutzerprofilierungsmechanismen.
- ▶ *einfachem MTS-basierten Lernmaterial*. Bei dieser Kategorie wurden die Möglichkeiten des MTS-Systems nicht in vollem Maß ausgeschöpft. So ist der Anteil an „Learning by doing“-Lernmaterial deutlich geringer, und auch das Benutzerprofil wird weniger genutzt. Eine hohe inhaltliche und pädagogische Qualität des Lernmaterials ist aber auch hier Voraussetzung.
- ▶ *traditionellen Lernformen*. Die Teile der Vorlesungen, für die von keinem der Partner MTS-basiertes Lernmaterial erzeugt und bereitgestellt wurde, wurden mit herkömmlichem Lernmaterial realisiert. Der in Abbildung 66 gezeigte Austausch von traditionellem Lernmaterial beinhaltet neben dem Austausch von Material, das tatsächlich in einer Vorlesung eingesetzt werden kann, auch Informationen zu unterstützendem Lernmaterial wie etwa Literaturlisten o.ä..

Das Diagramm in Abbildung 66 zeigt, gemessen in effektiven Stunden Lernzeit, wie groß der Anteil jeder dieser Kategorien von Lernmaterial in den Vorlesungen der einzelnen Partner insgesamt ist, wieviel Lernmaterial sie selbst erstellen und wieviel Lernmaterial sie von anderen Partnern übernehmen. Bei der Berechnung des Wiederverwertungsfaktors MUF wird nur das MTS-basierte Lernmaterial betrachtet. Dabei wird die effektive Dauer CW_i eines Lernmaterials gewichtet mit der Häufigkeit seiner Nutzung (*usage factor*) UF_i . Normiert wird das Ganze mit der Gesamtdauer des erstellten Lernmaterials. Der im IHE-Szenario erreichte Wert von 2,11 für den Wiederverwertungsfaktor besagt, daß im Mittel jedes Lernmaterial von zwei der Partner verwendet wird. Dieser relativ hohe Wert ist auf die effektive Kursplanung und die detaillierten Absprachen in der Anfangsphase des IHE-Szenarios zurückzuführen.

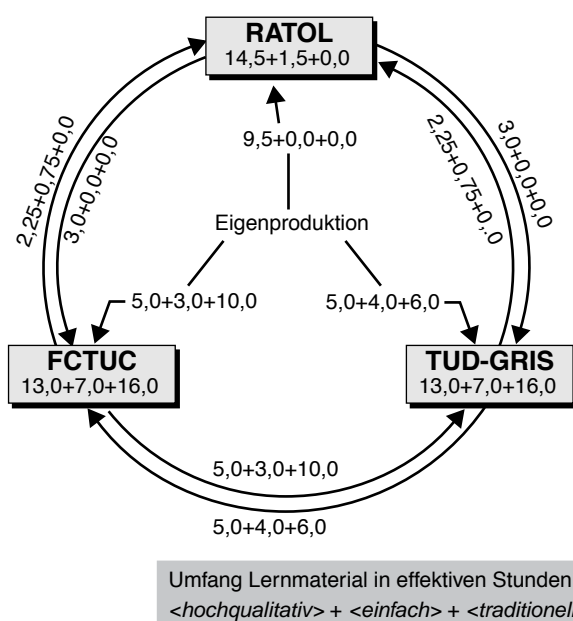


Abbildung 66. Ausmaß der Wiederverwendung im IHE-Szenario

$$MUF = \frac{\sum_{i=1}^n UF_i \cdot CW_i}{\sum_{i=1}^n CW_i}$$

$$MUF_{FCTUC} = \frac{3 \cdot 3,5 + 2 \cdot 4,5}{3,5 + 4,5} = \frac{19,5}{8,0} = 2,44$$

$$MUF_{TUD-GRIS} = \frac{3 \cdot 3,0 + 2 \cdot 6,0}{3,0 + 6,0} = \frac{21}{9} = 2,33$$

$$MUF_{RATOL} = \frac{3 \cdot 3,0 + 1 \cdot 6,5}{3,0 + 6,5} = \frac{15,5}{9,5} = 1,63$$

$$MUF_{total} = \frac{3 \cdot 9,5 + 2 \cdot 10,5 + 1 \cdot 6,5}{9,5 + 10,5 + 6,5} = \frac{56,0}{26,5} = 2,11$$

1. Da es sich bei den Lehraktivitäten um reguläre Vorlesungen handelte, war der Umfang des Kurses durch äußere Randbedingungen vorgegeben und konnte nicht auf ein machbares Maß reduziert werden. Weil die Partner das MTS-System aber unter realen Bedingungen erproben wollten, wurde daran festgehalten, MTS im Rahmen einer realen Vorlesung einzusetzen, auch wenn das bedeutete, daß nur Teile der Vorlesung der Idealvorstellung eines MTS-Kurses entsprachen.

Der Wiederverwertungsfaktor bewertet den Erfolg aus der Gesamtsicht. Aber wie stellt sich die Situation aus der Sicht der einzelnen Partner dar? Dazu berechnet man den effektiven Produktionsfaktor: Man setzt einfach die Menge des selbsterstellten Lernmaterials in Relation zu der Menge des verwendeten Lernmaterials

Sei $E = \{ \text{Menge des eigenen (selbst erzeugten) Lernmaterials} \}$
 und $K = \{ \text{Menge des verwendeten Lernmaterials} \}$

$$EPF = \frac{\sum_{i \in E} CW_i}{\sum_{j \in K} CW_j} \quad (\text{GL 36})$$

Damit ergeben sich für das IHE-Szenario folgende Werte für die einzelnen Partner

$$\begin{aligned} EPF_{\text{FCTUC}} &= \frac{5+3}{13+7} = \frac{8}{20} = 0,40 \\ EPF_{\text{TU-GRIS}} &= \frac{5+4}{13+7} = \frac{9}{20} = 0,45 \\ EPF_{\text{RATOL}} &= \frac{9,5}{14,5+1,5} = \frac{9,5}{16} = 0,59 \end{aligned} \quad (\text{GL 37})$$

Wie man diesen Zahlen entnehmen kann, hat sich für die Partner FCTUC und GRIS der Produktionsaufwand um deutlich mehr als die Hälfte reduziert. Auch bei RATOL ist noch eine deutliche Einsparung von etwas mehr als 40% erkennbar.

9.1.2 Gegenwärtiger Einsatz des MTS

In Abschnitt „4.1.3 Evolution des MTS“ wurden bereits die unterschiedlichen Entwicklungsschritte des MTS vorgestellt. Dabei lag das Hauptinteresse allerdings auf der technischen Entwicklung. In diesem Kapitel steht die Anwendung des Systems im Vordergrund des Interesses. Wie an obiger Stelle erwähnt, gab es ausgehend von dem Stand der Entwicklung zum Ende des Projektes IDEALS (Juni 1998) einige technische Weiterentwicklungen; näheres hierzu findet man im Abschnitt „Platinum“ auf Seite 42. Diese technischen Entwicklungen betrafen allerdings nicht das Laufzeitsystem und sind daher im Zusammenhang mit dieser Arbeit nicht von Belang.

Das Fachgebiet GRIS der TU Darmstadt verwendet auch weiterhin MTS, um als Ergänzung zu seinem traditionellen Vorlesungsangebot rechnergestützte Kurse anzubieten. Dabei bleibt es den Studenten überlassen, ob Sie das Zusatzangebot wahrnehmen oder nicht. Beim Arbeiten mit dem System wird sichergestellt, daß die Anonymität der Schüler gewahrt bleibt. Ihnen wird allerdings die Möglichkeit angeboten, die Ergebnisse des digitalen Kurses (Auswertung des Benutzerprofils und der Testergebnisse) in die Benotung einzubringen. Dazu müssen sie dann allerdings ihre Anonymität aufgeben. Die dabei langfristig gewonnenen Erfahrungen sollen Auskunft über die Effizienz des IDEALS MTS und den Lernerfolg der teilnehmenden Studenten geben. Gleichzeitig soll die Akzeptanz eines solchen Systems untersucht werden. Das im Rahmen von IDEALS entwickelte Lernmaterial bildete dabei einen Grundstock, der stetig verbessert und erweitert wird.

Die verwendete MTS-Software entspricht dabei im wesentlichen dem IDEALS MTS, allerdings mit einigen Erweiterungen vor allem im Bereich der Benutzerprofilierung. Neben der Unterstützung der Lehre dient das System auch als Testumgebung für die Forschungsaktivitäten von GRIS im Bereich von Codierung und Beschreibung von Expertisen, graphisch-interaktiven Werkzeugen für das Expertisen-Management und die Prozeßmodellierung für Lehr- und Lernsysteme.

9.2 CIPRESS

Das Akronym CIPRESS steht für „Cryptographic Intellectual Property Rights Enforcement System“ und ist der interne Projektname eines gemeinsamen Forschungsprojekts der Mitsubishi Corporation und des Fraunhofer-Instituts für graphische Datenverarbeitung (IGD). Ziel ist es, ein System zu entwickeln, das geistiges Eigentum vor unbefugter Nutzung und Weitergabe schützt und die Wiederverwendung copyrightgeschützten Materials in neuem Material unterstützt. Dabei realisiert es das in Abschnitt 7.2 vorgestellte Umsetzungskonzept.

Das Projekt startete im Januar 1998. Im Verlauf dieses Jahres wurde ein erster Prototyp des Systems entwickelt, mit dem die Machbarkeit des System nachgewiesen werden konnte und mit dem wichtige Erkenntnisse betreffs der Umsetzung gewonnen wurden. Ausgehend von den dabei gemachten Erfahrungen wurde der Prototyp im Verlauf des Jahres 1999 weiterentwickelt. So wurde die Benutzer- und Gruppenverwaltung grund-

legend überarbeitet. Um die Performanz zu verbessern, wurde eine Hardwareunterstützung für die Verschlüsselung integriert. Da diese Erweiterung auch den Einsatz von Chipkarten ermöglicht, wird dadurch auch das Maß der Sicherheit erhöht. Weiterhin wurde die Anbindung an die Content Server und den Key Server hinsichtlich Skalierbarkeit überarbeitet und somit die Basis geschaffen für den Einsatz in großem Maßstab. Im Verlauf des Jahres 2000 wurde die technische Weiterentwicklung fortgesetzt. Die wichtigsten Neuerungen waren dabei die Einführung eines lokalen Schlüsselspeichers¹, die Möglichkeit, Dokumente auch wieder aus CIPRESS zu exportieren und ein Versionsmanagement, wie es in Abschnitt „7.2.3 Semantisches Dokumentmodell für die Verarbeitung, Darstellung und inhaltsbasierte Verfolgung von Dokumenten“ beschrieben wird. Parallel hierzu fand auch eine Portierung der Software nach Windows 2000 und Unix² statt. Mit dem Versionsmanagement lassen sich logische Beziehungen zwischen einzelnen Dokumenten korrekt wiedergeben.

Mittlerweile hat der Prototyp bereits einen Status erreicht, der die Überführung in ein echtes Produkt erlaubt. Da es auch starkes Interesse von Seiten potentieller Kunden an einem derartigen System gibt, wurde eine eigene Verwertungsgesellschaft gegründet, die den Prototypen in ein marktreifes Produkt überführen und ihn dann auch vertreiben soll. Im Verlauf des Jahres 2000 wurde das CIPRESS-System auf Windows 2000 und Unix portiert.

9.2.1 Details der Implementierung

Im folgenden werden einige relevante Details der Implementierung vorgestellt.

Verschlüsselungsverfahren in CIPRESS

CIPRESS verwendet als Verschlüsselungsverfahren Triple-DES [104]. Standardmäßig erfolgt die Verschlüsselung in Software. Neben der reinen Softwareversion von CIPRESS gibt es auch eine Version mit Hardwareunterstützung. In dieser Version übernimmt eine Kryptokarte die Ver- und Entschlüsselung der Dokumente. Da die Verschlüsselung mit einem Standardverfahren erfolgt, kann eine handelsübliche Kryptokarte verwendet werden. Um das Maß an Sicherheit noch weiter zu erhöhen, werden bei der Version mit der Kryptokarte die Benutzerzertifikate auf einer Chipkarte abgelegt.

Wasserzeichenverfahren in CIPRESS

Das Wasserzeichenverfahren, das in CIPRESS für die Markierung von Bildern zum Einsatz kommt [124], ist ein frequenzraumbasiertes Verfahren, wobei die einzubettende Information in (1-Bit, 0-Bit) durch das Größenverhältnis zweier ausgewählter Frequenzkoeffizienten kodiert wird. Durch diesen Ansatz ist es möglich, hierarchische Wasserzeichen einzubetten, indem in jeder Einbettungseinheit eine Folge von Paaren der Frequenzkoeffizienten als Informationsträger genutzt wird. Die eingebrachten digitalen Wasserzeichen bleiben im Bild erhalten, auch wenn dieses vom Bildschirm kopiert oder ausgedruckt wird. Dies setzt eine hohe Robustheit gegen die Digital-Analog-Wandlung voraus. Darüber hinaus sind weitere mögliche geometrische oder radiometrische Transformationen zu berücksichtigen, denen ein Bild unterworfen werden kann, ehe das Wasserzeichen ausgelesen werden kann. Das verwendete Verfahren [124] erfüllt hinreichend diese Bedingungen.

Abbildung 67 zeigt den sogenannten WatermarkSpotter, der das auf Seite 129 beschriebene Vorgehen zum Nachweis des Urheberrechts realisiert. Dazu liest er für eine oder mehrere Dateien sowohl die Server-Wasserzeichen als auch die Benutzerwasserzeichen aus. Für jedes der fünf möglichen Wasserzeichen stellt er die gelesene Wasserzeicheninformation graphisch dar. Für das geheime Server- und die Benutzer-Wasserzeichen zeigt er auch an, wie viele der ausgelesenen Bits mit den erwarteten Werten übereinstimmen und um welche Bits es sich dabei handelt³. Bei den Benutzer-Wasserzeichen erlaubt es der WatermarkSpotter, über eine graphische Benutzungsschnittstelle die Menge der Benutzer festzulegen, die überprüft werden sollen. Die Schlüssel zum Extrahieren der Wasserzeichen liest der WatermarkSpotter automatisch aus der Key Center Datenbank.

Globales Namensschema

CIPRESS verwendet ein eigenständiges Namensschema. Dieses Schema erlaubt die global eindeutige Identifikation der Benutzer und Gruppen. Dieses Namensschema basiert auf Standard X.509 Zertifikaten und ist unabhängig von der verwendeten Plattform und auch von der lokalen Benutzerverwaltung der lokalen Systemadministratoren, d.h. ein lokaler Systemadministrator kann keinen CIPRESS-Benutzer erzeugen oder deaktivieren, indem er einen lokalen Benutzeraccount anlegt oder löscht. Die Verwaltung der CIPRESS-

1. Die Einführung des lokalen Schlüsselspeichers ermöglicht es, daß ein CIPRESS-Client zumindestens vorübergehend auch ohne Verbindung zu einem Key Center betrieben werden kann und somit auch auf Laptops eingesetzt werden kann.
 2. Die Unix-Portierung beschränkt sich auf die Clientseite. Die Serverkomponenten sind weiterhin nur für Windows verfügbar.
 3. Korrekte Bits werden grün und nicht übereinstimmende Bits werden rot dargestellt.

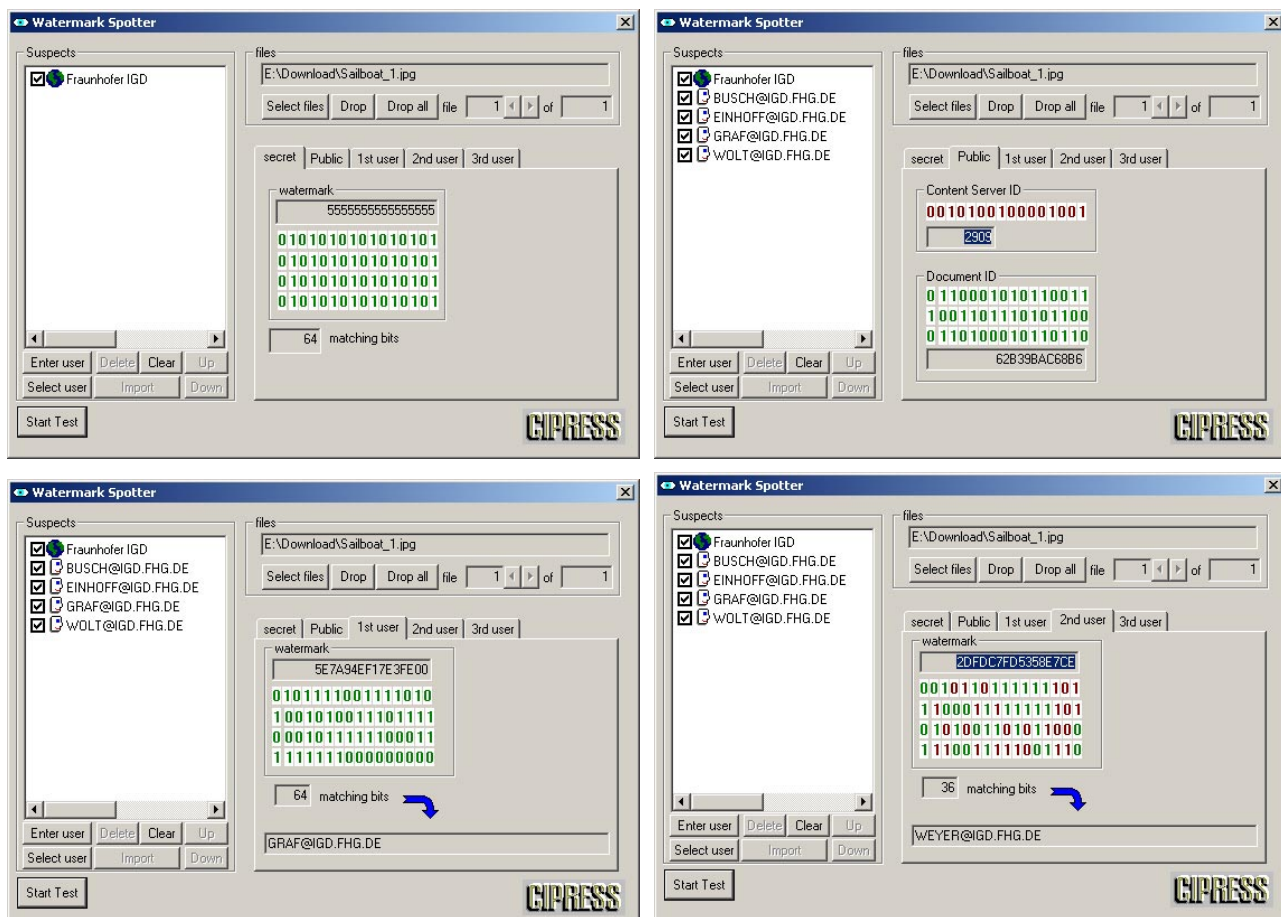


Abbildung 67. Der WatermarkSpotter

Benutzer findet ausschließlich auf dem Key Center statt, denn nur so läßt sich ein global eindeutiger Namensraum erreichen. Es gibt in CIPRESS zwar die Rolle des Key Center Administrators, der für die Wartung des Key Centers zuständig ist. Aber da eine CIPRESS-Umgebung ein Zusammenschluß einer Vielzahl von eigenständigen Organisationen bzw. deren Intranets ist, kann ein Key Center Administrator nicht mit den spezifischen Gegebenheiten und Interna jeder einzelnen Organisation vertraut sein. Daher unterteilt CIPRESS seinen globalen Namensraum in unterschiedliche, sich nicht überschneidende administrative Einheiten, die sogenannten *Domains*. Für die Verwaltung dieser Domains sind Benutzer mit speziellen Privilegien, die sogenannten *Domain Administratoren*, zuständig. Damit ist es jetzt möglich, daß jede Organisation die Verwaltung ihrer Benutzer selbst übernimmt.

Auf diesem globalen Benutzernamen basiert auch die Vergabe von Zugriffsrechten für CIPRESS-Dokumente. Um eine effektive Verwaltung von Benutzern und Dokumenten zu gewährleisten, kann ein Domain Administrator Benutzer zu Benutzergruppen zusammenfassen und Zugriffsrechte anhand solcher Benutzergruppen vergeben. Benutzergruppen dürfen als Mitglieder auch andere Benutzergruppen enthalten.

9.2.2 Der CIPRESS-Feldversuch

Im Herbst des Jahres 1998 war der erste CIPRESS-Prototyp verfügbar. Parallel zu der technischen Weiterentwicklung wurde dieser Prototyp in einem Feldversuch mit hessischen Dermatologen erprobt. Mit dem Feldversuch wurden die folgenden Ziele verfolgt:

- ▶ Korrektheitsnachweis für die dem CIPRESS-System zugrunde liegenden Konzepte und Systemarchitektur und Aufspüren von konzeptionellen Fehlern und Schwachstellen.
- ▶ Verifikation des ersten Prototypen. Hier stand im Vordergrund, die Fehler und Probleme zu finden, die bei der technischen Umsetzung der Konzepte gemacht wurden.
- ▶ Gewinnen von Erfahrungen im Umgang mit dem System. Hier sollte, insbesondere durch das Feedback von Anwendern, die Handhabbarkeit des Systems untersucht werden. Dabei lag auch ein besonderes Augenmerk auf dem Anwendungsszenario Weiterbildung. Dieser Aspekt ist für Mediziner von besonderer Bedeutung, da es einen konkreten Bedarf für eine kontinuierliche Weiterbildung der Ärzte gibt.

Der Feldversuch bestätigte die Tragfähigkeit der Konzepte und auch der Umsetzung, zeigte aber auch Verbesserungsmöglichkeiten auf. Diese Erfahrungen flossen in die parallel laufende Entwicklung eines zweiten

Prototypen ein. In einer späteren Phase des Feldversuchs wurden Ergebnisse aus der Entwicklung in den Feldversuch übernommen, hauptsächlich Hardwareunterstützung für die Verschlüsselung. Zum Ende des Jahres 1999 stand ein erweiterter und verbesserter Prototyp zur Verfügung.

Aufgrund der Tatsache, daß das Anwendungsszenario für den Feldversuch im medizinischen Bereich angesiedelt war, lag das Hauptaugenmerk auf dem sicheren Austausch von vertraulichen Patientendaten. Aber im medizinischen Bereich besteht auch ein großer Bedarf nach einer kontinuierlichen Weiterbildung der einzelnen Ärzte. Bei den Dermatologen geschieht dies durch traditionelle Seminare, was dazu führt, daß sich die Dermatologen zu festen Zeiten an bestimmten Orten zu Weiterbildungsmaßnahmen treffen müssen. Insbesondere der hessische Dermatologenverband beschäftigt sich mit der Frage, wie sich durch den Einsatz des WWW diese Einschränkungen aufheben lassen. Daher befaßte sich der Feldversuch auch mit der Bereitstellung von Weiterbildungsmaterial über das WWW. Ein wichtiger Bestandteil dieser Weiterbildung ist die Präsentation von Fallstudien. Hierbei werden interessante Einzelfälle vorgestellt und besprochen. Für ein Lernsystem sind dabei insbesondere die folgenden Aspekte von Bedeutung:

- ▶ Da das Lernmaterial Patientendaten enthält, muß sichergestellt werden, daß die Vertraulichkeit des Lernmaterials gewahrt bleibt. Es soll also nur einem bestimmten Personenkreis zugänglich sein. Weiterhin gibt es auch das Interesse, nachzuvollziehen, wer an welchen Weiterbildungsmaßnahmen teilgenommen hat und wer Lernmaterial bereitgestellt hat.
- ▶ Das Lernmaterial wird von den Ärzten selbst erstellt und nicht von speziellen Autoren. Daher muß die Verwendung des Systems auch ohne spezielles Vorwissen möglich sein. Dies gilt insbesondere auch für den Aspekt der Sicherheit. Jeder Autor sollte möglichst einfach die Sicherheitseinstellungen für sein Lernmaterial vorgeben können.

So wurde auch ein Online-Referenzhandbuch für die Benutzung des CIPRESS-Systems und auch Lernmaterial zum Thema Hautkrebs im WWW bereitgestellt und über CIPRESS abgesichert. Die Ergebnisse des CIPRESS-Feldversuchs bezüglich Sicherheit beim Lernen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- ▶ Mit CIPRESS läßt sich die Sicherheit und Vertraulichkeit von Lernmaterial sicherstellen. Der Schlüssel hierzu ist, daß der Eigentümer in einer CIPRESS-Umgebung die volle Kontrolle über all seine Dokumente behält, auch über Kopien.
- ▶ Besonders interessant ist dabei, daß sich mit CIPRESS nicht nur kontrollieren läßt, an wen Lernmaterial ausgeliefert wird, sondern die Kontrolle auch nach Auslieferung noch erhalten bleibt. Welche zusätzlichen Möglichkeiten sich daraus ergeben, wurde bereits im Detail in Abschnitt „Verwendungszwecke beim Lernen“ auf Seite 137 erläutert.
- ▶ Für den normalen Benutzer ist die Verwendung von CIPRESS transparent. Das hat den Vorteil, daß er mit seinen gewohnten Programmen genauso arbeiten kann, wie er es gewohnt ist und sich nicht umstellen muß. Beim normalen Arbeiten kann ein Benutzer nicht feststellen, ob er in einer normalen oder in einer CIPRESS-Umgebung arbeitet. Änderungen gibt es lediglich bei der Erzeugung von Dokumenten. Damit diese ausgetauscht werden können, müssen sie beim Key Center registriert werden, was einen zusätzlichen Schritt darstellt. Hierbei müssen auch sicherheitsrelevante Einstellungen vorgenommen werden. Im Fall des Lernens sind die große Mehrheit der Benutzer jedoch bloße Konsumenten und erzeugen keine Dokumente, und somit ist das CIPRESS-System für sie vollkommen transparent. Der Feldversuch hat aber auch gezeigt, daß auch Benutzer, die Lernmaterial erstellen, keine Probleme mit der Verwendung des Systems hatten. In allen Fällen war eine minimale Einweisung von etwa einer Stunde ausreichend, um die Feldversuchsteilnehmer in die Lage zu versetzen, das CIPRESS-System nutzen zu können. Dies bestätigt die Tragfähigkeit der zugrunde liegenden Idee, daß durch eine möglichst transparente Implementierung der Sicherheitsmechanismen eine ausreichende Benutzerakzeptanz für Sicherheitsmechanismen geschaffen werden kann.
- ▶ Der Feldversuch zeigte ferner auf, daß es eines sehr flexiblen Mechanismus zur Festlegung der Zugriffsrechte bedarf. Die Anwender verlangten danach, die Zugriffsrechte auf individueller Basis vergeben zu können. Der im ersten Prototypen realisierte Mechanismus, der auf statischen Gruppen beruhte, entsprach nicht den Bedürfnissen und Wünschen der Feldversuchsteilnehmer. Diese Erkenntnis führte dazu, daß ein anderer Mechanismus zur Festlegung der Benutzerrechte mit der notwendigen Flexibilität entwickelt und eingeführt wurde. CIPRESS unterstützt zwar weiterhin die Zusammenfassung von Benutzern zu Gruppen und unterscheidet auch weiterhin nur zwischen drei verschiedenen Kategorien von Benutzern, für die der Eigentümer eines Dokumentes individuell die Zugriffsrechte festlegen kann (Eigentümer, Friends, Andere), aber jetzt kann eine beliebige Kombination aus Benutzern und Gruppen zu Friends des Dokuments erklärt werden und man ist nicht länger beschränkt auf eine einzige Gruppe. Diese Beschränkung hatte zur Folge, daß man eine gewünschte Kombination von Benutzern nur dann zu Friends erklären konnte, wenn es eine Gruppe mit exakt diesen Benutzern als Mitglieder gab.

- Obwohl CIPRESS für einen Schüler transparent ist, führt es dennoch zu einer verstärkten Belastung des Rechners hinsichtlich der Rechnerleistung. Für den Benutzer äußert sich dies darin, daß ihm ein mit CIPRESS ausgerüstetes System langsamer erscheint als ein gleichwertiges System ohne CIPRESS. (siehe auch Abschnitt „Rechnerleistung“ auf Seite 176). Dieser Effekt muß bei der Planung des Lernens in Betracht gezogen werden, d.h. es müssen entsprechend leistungsfähige Rechner verwendet werden. Durch den Einsatz von besonderer Hardware für die Ver- und Entschlüsselung läßt sich hier eine beträchtliche Verbesserung erreichen, auch wenn aus prinzipiellen Gründen ein CIPRESS-System dem Benutzer immer langsamer erscheinen wird.

9.2.3 Erfahrungen aus der Implementierung

Im folgenden wird auf einige interessante Aspekte der Realisierung eingegangen.

Rechnerleistung

Auf einem Client-System wird jedes Dokument, bevor es in den Arbeitsspeicher geladen wird, zuerst entschlüsselt und, falls das Dokument dazu geeignet ist, wird ein digitales Wasserzeichen eingefügt. Beim Abspeichern eines Dokuments muß es neu verschlüsselt werden. Der zusätzliche Aufwand kann aufgefangen werden durch Verwendung spezieller Hardware für die Ver- und Entschlüsselung sowie für das Einbringen von digitalen Wasserzeichen. Da die Verschlüsselung mit einem Standardverfahren (Triple-DES [104]) erfolgt, kann eine handelsübliche Kryptokarte verwendet werden. Wie in Abschnitt „Verschlüsselungsverfahren in CIPRESS“ erwähnt, gibt es solch eine Version mit Hardwareunterstützung. Prinzipiell ist auch Hardwareunterstützung für das Einbringen von Wasserzeichen denkbar¹. Allerdings wäre eine derartige Karte dann eine Sonderanfertigung und dementsprechend teuer. So liegt der Preis für die im EU-Projekt Talisman [118] entwickelte Karte, mit der Wasserzeichen in Echtzeit in Videodaten (25 Frames pro Sekunde) eingebracht werden können bei mehreren 10000 DM pro Stück. Wenn man nun CIPRESS mit maximaler Hardwareunterstützung realisieren wollte, sollte nach Möglichkeit nur eine Erweiterungskarte notwendig sein und nicht eine für die Ent- und Verschlüsselung und eine für die Wasserzeichen. Darüberhinaus würde es sich anbieten, auf einer derartigen Karte auch den in Abschnitt „Verfügbarkeit des Key Centers“ auf Seite 134 erwähnten Schlüsselspeicher unterzubringen. Aber auch in diesem Fall stellt sich die Frage, ob sich der dafür notwendige Entwicklungsaufwand rechnet. Auch wenn man aus Kostengründen darauf verzichtet, alle Clientrechner mit Hardwareunterstützung auszurüsten, wird man doch in aller Regel die Rechner im Content Server Cluster mit entsprechender Hardware ausrüsten.

Aber selbst im Idealfall, daß die Ver- und Entschlüsselung und das Einfügen eines Wasserzeichens in Nullzeit erfolgen könnte, würde die Darstellung von WWW-basiertem Material auf einem CIPRESS-System immer noch langsamer erscheinen als auf dem gleichen System ohne CIPRESS. Der Grund dafür liegt darin, daß in einem System ohne CIPRESS der WWW-Browser bereits mit der Darstellung von Material (z.B. Bild) beginnen kann, während der Rest des Materials noch geladen wird. Auf einem CIPRESS-System müssen jedoch zuerst die Daten entschlüsselt und ein Wasserzeichen eingefügt werden. Dazu muß das Dokument aber zuerst vollständig heruntergeladen sein. Daher kann in einem CIPRESS-System auch ein Dokument, das prinzipiell inkrementell dargestellt werden könnte, erst dann dargestellt werden, wenn es vollständig heruntergeladen wurde. Abbildung 68 veranschaulicht dieses zeitliche Verhalten bei der Darstellung.

Auf einem System ohne CIPRESS kann mit der Darstellung des Materials bereits während des Downloads begonnen werden. Für einen Benutzer wird das Material sichtbar zum Zeitpunkt 1. Unmittelbar nachdem das gesamte Material heruntergeladen ist, ist auch die Darstellung komplett. Die Steigung der Kurve entspricht dabei der Downloadrate. In einem realen CIPRESS-System kann mit der Darstellung erst begonnen werden, nachdem die gesamten Daten entschlüsselt wurden und das Wasserzeichen eingebracht wurde. Da die Daten dann lokal verfügbar sind, erfolgt die Darstellung schneller und ist unabhängig von der Downloadrate. Die Darstellung wird sichtbar zum Zeitpunkt 2. Diese zeitliche Abhängigkeit ist auch der Grund, warum ein CIPRESS-System für einen Benutzer immer langsamer erscheint als ein System ohne CIPRESS. Denn selbst in einem idealen CIPRESS-System, in dem das Entschlüsseln und das Einbringen von Wasserzeichen in Nullzeit erfolgt, kann mit der Darstellung erst dann begonnen werden, nachdem das gesamte Material heruntergeladen worden ist. Im Diagramm erkennt man, daß es mit einem idealen CIPRESS-System nur unwesentlich länger dauert, bis die Darstellung vollständig ist, als mit einem System ohne CIPRESS. Allerdings dauert es wesentlich länger, bis das Material zum ersten Mal für den Benutzer sichtbar wird (Zeitpunkt 3). Diese Verzögerung bewirkt, daß ein CIPRESS-System in der Wahrnehmung des Benutzers überproportional langsamer erscheint als ein System ohne CIPRESS.

1. Auf einem 300 MHz Pentium Rechner benötigt die reine Softwareversion ca. 2 Sekunden für das Einbringen eines Wasserzeichens. Daher wäre eine Hardwareunterstützung hierfür durchaus interessant.

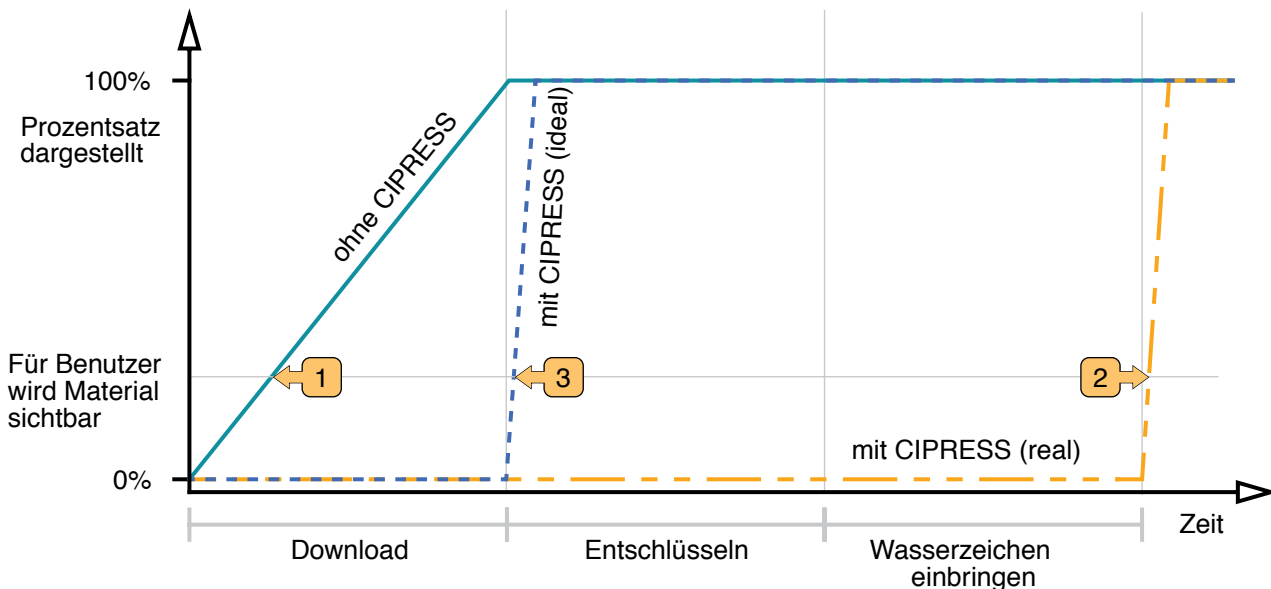


Abbildung 68. Downloadverhalten

Plattformabhängigkeit

Das CIPRESS-System ist implementiert als eine Erweiterung des Betriebssystems. Diese Integration in das Betriebssystem ist von zentraler Bedeutung für die Sicherheit, denn nur wenn sichergestellt ist, daß ein normaler Benutzer die CIPRESS-Komponenten nicht umgehen oder deaktivieren kann, läßt sich das nötige Maß an Sicherheit der Daten erzielen.

Allerdings hat diese Integration in das Betriebssystem auch Nachteile. So wurde das CIPRESS-System zuerst nur für Windows NT 4.0 implementiert. Im Jahr 2000 erfolgte dann die Implementierung für Windows 2000 und die Clientkomponenten wurden auch auf Unix portiert. Weitere Versionen für andere Betriebssysteme wie etwa Linux oder auch MacOS X sind prinzipiell möglich, aber jedes unterstützte Betriebssystem erfordert zusätzlichen Aufwand für die Implementierung und Pflege der entsprechenden Version der Software. Darüberhinaus ist eine Portierung nach DOS, Windows 95, Windows 98 oder MacOS prinzipiell unmöglich, da dieses System nicht zwischen einem normalen Benutzer und einem Administrator unterscheiden und als Folge dessen jeder Benutzer die CIPRESS-Funktionalität umgehen oder deaktivieren kann und somit die Sicherheit nicht gewährleistet werden kann. Die Benutzung von CIPRESS ist damit beschränkt auf ein Subset von Rechnern mit geeigneten Betriebssystemen. Die Betriebssysteme, die man typischerweise bei einem Heimanwender findet, gehören nicht zu diesem Subset.

9.3 Framework für Lernerfolgskontrolle

Das Framework für die Lernerfolgskontrolle wurde, wie in Abschnitt 8.5 beschrieben, in Java implementiert. Durch die Implementierung von Testmaterial und den dazugehörigen Testklassen wurde die Tragfähigkeit der Konzepte und die Güte der Implementierung getestet. Dabei wurde Wert darauf gelegt, daß neben dem Nachweis der Eignung für typische Testformen (Multiple-Choice-Tests) auch die Eignung für Formen der Lernerfolgskontrolle aufgezeigt wird, bei denen die Lernerfolgskontrolle mit der Wissensvermittlung verschmolzen ist und bei denen es Bedarf für unmittelbares Feedback auf Benutzeraktionen gibt. Auch eine Anbindung an das IDEALS MTS wurde implementiert. Damit läßt sich auch in Lernmaterial für MTS eine verlässliche Lernfolgskontrolle realisieren.

Im folgenden wird aufgezeigt, wie sich das Testframework verwenden läßt. Anhand eines Beispiels werden im Detail die einzelnen Schritte erläutert, um eine neue Testklasse und eine Instanz dieser Testklasse zu erzeugen. Als Beispiel wird eine Klasse für Multiple-Choice-Tests verwendet. Multiple-Choice-Tests kann man sicherlich nicht zu den fortgeschrittenen Formen von Tests zählen, deren Realisierung das Testframework ja unterstützen soll. Aber Multiple-Choice-Tests haben durchaus ihren Platz im WWW-basierten Testen, und aufgrund ihrer Einfachheit und ihrer Bekanntheit eignen sie sich hervorragend zur Illustration, wie sich mit dem Testframework eine Testklasse erstellen und verwenden läßt. Ein zweites Beispiel zeigt dann, wie sich auch fortschrittlichere Testformen realisieren lassen.

9.3.1 Erstellen und Hinzufügen neuer Testklassen

Wie bereits erwähnt erlaubt die Verwendung von Testklassen die Kapselung von gemeinsamen Testfunktionalitäten (Testmustern) in wiederverwendbare Softwarekomponenten. Diese gemeinsamen Funktionalitäten sind unabhängig von den im Test behandelten Inhalten, und durch die Kapselung in eine eigene wiederverwendbare Komponente kann sie von allen Testinstanzen benutzt werden, ohne daß sie jedesmal neu implementiert werden muß.

Der erste Schritt in der Erzeugung einer Testklasse ist daher die Identifizierung bzw. Spezifikation der gemeinsamen Funktionalität für die Klasse. Es besteht ein starker Zusammenhang zwischen dem Grad der Abstraktion und dem Maß an Wiederverwendbarkeit für eine Testklasse. Es ist die Aufgabe oder die Kunst des Testklassenautors, dieses geeignet zu wählen, so daß auf der einen Seite die Testklasse abstrakt genug gehalten ist, um wiederverwendet werden zu können, aber andererseits auch konkret genug ist, so daß der eigentliche Testautor keine zu großen Ergänzungen mehr machen muß, um das von ihm gewünschte spezielle Verhalten zu realisieren.

Die Testklasse *SimpleMultipleChoice* soll die Testfunktionalität für einen einfachen Multiple-Choice-Test bereitstellen. Ein einfacher Multiple-Choice-Test sei wie folgt definiert:

Definition 24: Ein einfacher Multiple-Choice-Test besteht aus einer oder mehreren Fragen, die der Schüler innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums zu beantworten hat. Jede Frage besteht aus der Fragestellung und einem Satz von vorgegebenen Antworten, aus denen der Schüler eine auswählen kann. Es ist allerdings auch zulässig, daß keine Antwort ausgewählt wird. Zu Beginn eines einfachen Multiple-Choice-Tests ist für keine der Fragen eine Antwort ausgewählt. Jeder Antwort ist eine feste Punktzahl zugeordnet und ebenso dem Fall, daß keine Antwort ausgewählt wurde. Die Auswertung eines einfachen Multiple-Choice-Tests erfolgt durch einfaches Aufsummieren der den ausgewählten Antworten zugeordneten Punktzahlen. Diese Auswertung erfolgt automatisch nach Ablauf des Zeitlimits. Das Ergebnis der Auswertung wird dem Schüler mitgeteilt. Außerdem bekommt er eine Erläuterung zu jeder ausgewählten Antwort.

Im Testframework hat ein Objekt der Testklasse die Aufgabe, für einen bestimmten Test zur Testlaufzeit dessen aktuellen Zustand zu verwalten. Zustandsübergänge finden immer dann statt, wenn das Testmaterial signifikante Testereignisse erkannt und dies über das Testapplet dem Testobjekt mitgeteilt hat. Deshalb ist zuerst zu klären, was der Zustand eines einfachen Multiple-Choice-Tests ist und was die signifikanten Testereignisse sind.

Den Zustand erhält man, indem man für jede Frage speichert, welche Antwort im Augenblick ausgewählt ist. Programmiertechnisch läßt sich dies am einfachsten durch ein Feld realisieren, wobei das *i*-te Feldelement die *i*-te Frage repräsentiert. Der Zustand eines Feldelements ist entweder Null, wenn keine Antwort ausgewählt ist, oder *j* wenn die *j*-te Antwort ausgewählt ist. Jedes Feldelement enthält für eine Frage neben dem aktuellen Zustand auch die Fragestellung und für jede mögliche Antwort die zugehörige Punktzahl¹.

Beim einfachen Multiple-Choice-Test gibt es nur eine Art von signifikantem Testereignis, und das ist die Auswahl einer Antwort für eine der Fragen. Sobald der Schüler eine Antwort auswählt, muß der Testzustand angepaßt werden, so daß er die neue Auswahl widerspiegelt. Wie im Abschnitt „8.4.4 Behandlung von Benutzeraktionen“ dargelegt, werden Testereignisse im Testframework als Name-Value-Paare dargestellt. Im Fall des einfachen Multiple-Choice-Tests muß also die Information „Für Frage *i* wurde Antwort *j* ausgewählt“ auf ein Paar (Name, Value) abgebildet werden. Das geschieht folgendermaßen: Der Parameter Name identifiziert die Frage, und der Parameter Value enthält die Information, welche Antwort ausgewählt wurde. Beide Parameter sind Zeichenketten. Der Parameter Name hat für die *i*-te Frage das Aussehen „Q*i*“. Das führende Q (für Question) ist streng genommen überflüssig, aber es erhöht die Lesbarkeit. Der Parameter Value enthält als Zeichenkette den Wert *j*. Dabei steht 0 für „Es wurde keine Auswahl getroffen“. Das Testmaterial müßte also, um dem Testobjekt mitzuteilen, daß der Schüler die erste Antwort in der zweiten Frage ausgewählt hat, die Methode *testAction()* des Testapplets wie folgt aufrufen:

```
testAction("Q2", "1")
```

„Ja/Nein“- bzw. „Wahr/Falsch“-Tests sind geläufige Unterformen des einfachen Multiple-Choice-Tests. Bei diesen ist die Fragestellung so formuliert, daß der Schüler immer zwischen den zwei Antworten „Ja“ und „Nein“ bzw. „Wahr“ und „Falsch“ wählen muß. Zur besseren Unterstützung solcher Tests empfiehlt es sich festzulegen, daß „Ja“ bzw. „Wahr“ immer durch den Wert „1“ und „Nein“ bzw. „Falsch“ immer durch den Wert „2“ dargestellt wird („0“ steht auch hier für keine Auswahl, was sich mit „weiß nicht“ übersetzen läßt) und dann die

1. Die mögliche Antwort 0 repräsentiert dabei den Fall ‚keine Antwort ausgewählt‘. Der Antworttext hierfür wird ignoriert.

Verwendung der symbolischen Konstanten "Yes" und "No" bzw. "True" und "False" zuzulassen. Dies erhöht nicht nur die Lesbarkeit, sondern vermeidet auch, daß Testautoren die numerischen Werte verwechseln.

Mit diesen Vorarbeiten ist dann klar, wie die für die Behandlung der Testereignisse zuständige Methode *evalAction()* und die für die endgültige Bewertung zuständige Methode *evalTest()* für die Testklasse auszusehen haben:

Bei *evalAction()* muß man aus dem Name-Parameter ermitteln, welche Frage betroffen ist, und der Zustand des entsprechenden Feldelements muß auf den Wert des Value-Parameters gesetzt werden. Bei der abschließenden Auswertung muß man dann lediglich alle Feldelemente der Reihe nach durchgehen, anhand des Zustands die zugeordnete Punktzahl ermitteln und die Punktzahlen für die einzelnen Fragen aufaddieren.

Aber das Ergebnis soll ja auch dem Schüler präsentiert werden, und es soll ihm zu jeder gewählten Antwort auch eine Erläuterung gegeben werden. Dazu wird der Feedback-Mechanismus des Testframeworks eingesetzt. Welche Erläuterung zu einer bestimmten Antwort gegeben werden soll, legt der Testautor fest. Genauso wie er jeder möglichen Antwort (inklusive der Nullantwort) eine Punktzahl zuordnet, muß er auch für jede Antwort eine Erläuterung vorgeben. Da auch der Feedback-Mechanismus des Testframeworks auf Name-Value-Paaren basiert, bedarf es genauso wie bei den Testereignissen einer Festlegung, wie die Erläuterungen zu den einzelnen Fragen bzw. das Gesamtergebnis auf diese Paare abgebildet werden. Der Parameter Name legt fest, zu welcher Frage die Erläuterung gehört oder ob es die Gesamtbewertung ist, und der Parameter Value enthält den Text der Erläuterung bzw. der Gesamtbewertung. Wie bei einem Testereignis identifiziert "Qi" die i-te Frage, d.h. das ist die Erläuterung zur gewählten Antwort auf die i-te Frage, und "RESULT" zeigt an, daß dies das Feedback mit der Gesamtbewertung ist. Damit ergibt sich dann prinzipiell folgender Code für die Methode *evalTest()*:

```
Enumeration e = questions.elements();
result = 0;
while (e.hasMoreElements()) {
    Question q = (Question) e.nextElement();
    feedback( q.name(), q.getAnswer() );
    result = result + q.getPoints();
}
return result;
```

Hiermit bleibt als letzte Frage für die Testklasse noch zu klären, wie ein Testobjekt initialisiert wird oder, anders ausgedrückt, wie ein Testautor die Fragen, Antworten, Punkte und Erläuterungen für ein bestimmtes Testobjekt spezifiziert.

Die Testklasse benötigt folgende Informationen für jede Testinstanz:

- ▶ Das Zeitlimit für diese Testinstanz
- ▶ Liste aller testrelevanten Subdokumente, deren Verfügbarkeit zum Startzeitpunkt des Tests garantiert sein muß und die deshalb von dem Testframework in den Cache geladen werden müssen
- ▶ Liste aller Fragen. Für jede Frage muß der Autor für alle möglichen Antworten und für den Fall, daß keine Antwort gegeben wurde, die Punktzahl für diese Antwort und die dazugehörige Erläuterung vorgeben. Die Testklasse benötigt weder die Fragestellung noch die Antworten. Es ist vollkommen ausreichend, wenn diese nur im Testmaterial vorhanden sind.

Um die Frage, wie ein Testautor die Initialisierungsdaten für die Testklasse spezifizieren muß, beantworten zu können, sollte man sich zuerst überlegen, wie er das Testmaterial selbst erstellt. Das Testmaterial ist im Grunde ein normales HTML-Dokument; allerdings muß der Testautor, um die Einbindung an das Testframework zu gewährleisten, einige Vorgaben beachten. Diese Vorgaben betreffen lediglich die Kommunikation mit dem Testframework und stellen nur eine minimale Einschränkung dar. Einem Testautor steht also für die Umsetzung eines einfachen Multiple-Choice-Tests das gesamte Spektrum von HTML, JavaScript, Java oder ähnlichem zur Verfügung. Dieses HTML-Dokument wird als letzter Schritt beim Starten eines Tests vom Testframework als Startseite an das Testapplet übertragen, welches es dann in einem eigenen Browser-Fenster anzeigt (siehe Abschnitt „Sichere und garantierte Materialauslieferung“ auf Seite 160). Da das Testframework, sprich die Testklasse, um das Startdokument übertragen zu können, dieses eh einlesen muß, bietet es sich an, die Initialisierungsinformation in dem HTML-Dokument unterzubringen, d.h. die Testklasse liest dieses angereicherte HTML-Dokument, filtert die Initialisierungsdaten aus dem HTML-Dokument heraus, verwendet die darin enthaltene Zusatzinformation, um das Testobjekt zu initialisieren, und gibt dann den eigentlichen HTML-Quelltext an das Testapplet weiter, das diesen dann anzeigt.

Diese Art des Vorgehens hat den Vorteil, daß alle Informationen für eine Testinstanz in einer einzigen Datei konzentriert sind¹, was die Verwaltung und Verteilung sehr vereinfacht. Der wesentliche Vorteil ist jedoch, daß

einfache Multiple-Choice-Tests mit jedem beliebigen HTML- oder Texteditor erstellt werden können. Dazu muß man die Initialisierungsdaten nur in einen speziellen HTML-Kommentar direkt vor dem <HTML> Tag unterbringen. Im Fall der vorgestellten Multiple-Choice-Testklasse sieht dieser spezielle Kommentar wie folgt aus:

```
<!-- TESTDATA

QUESTION:
Q1
10, Richtig.
0, Falsch. Die Obergrenze kann in jedem Fall bestimmt werden.
0, Die Antwort auf diese Frage sollte doch offensichtlich sein!

QUESTION:
Q2
20, Richtig!
3, Diese Antwort wäre richtig, wenn wir es nur mit positiven Werten zu tun
hätten.
0, Das ist unmöglich, die Antwort kann nie negativ sein!
0, Leider keine Punkte für Enthaltung.

...

PRELOAD:
ctest.gif

TIME:
30000
-->
<HTML>
```

Der spezielle Kommentarblock startet mit der Zeile <!-- TESTDATA und endet mit der Zeile -->. Alle für die Initialisierung relevanten Angaben stehen zwischen diesen beiden Zeilen. Für einen HTML-Editor oder einen HTML-Browser ist dies ein ganz normaler HTML-Kommentar, der ignoriert wird. Es gibt drei unterschiedliche Initialisierungsangaben, und jeder Angabenblock wird von einem Schlüsselwort eingeleitet, das angibt, um welche Art von Initialisierungsinformation es sich handelt.

Für jede Frage muß ein QUESTION-Block existieren. Die erste Zeile eines QUESTION-Blocks besteht aus dem Schlüsselwort „QUESTION:“. Die zweite Zeile enthält die Identifikation der Frage, das ist „Qi“ für die i-te Frage. Die folgenden Zeilen enthalten dann für die möglichen Antworten die zugehörige Punktzahl und den Erläuterungstext, jeweils durch ein Komma getrennt. Die (2+i)-te Zeile im QUESTION-Block enthält die Information zur i-ten Antwort. Dann folgt noch eine Zeile mit der Punktzahl und der Erläuterung für die leere Antwort, d.h. für den Fall, daß keine Antwort ausgewählt wurde.

Der PRELOAD-Block enthält die Liste aller testrelevanten Subdokumente, deren Verfügbarkeit zum Startzeitpunkt des Tests garantiert sein muß und die deshalb von dem Testframework in den Cache geladen werden müssen, bevor der Test beginnt. Dieser Block beginnt mit einer Zeile, die nur das Schlüsselwort „PRELOAD:“ enthält. Darauf folgt dann eine beliebige Anzahl von Zeilen, von denen jede eine URL für ein testrelevantes Subdokument enthält.

Schließlich gibt es noch den TIME-Block. Dieser besteht aus einer Zeile mit dem Schlüsselwort „TIME:“ und einer Zeile mit der Vorgabe für das Zeitlimit. Die Zeit, die einem Schüler zur Bearbeitung des Tests zur Verfügung steht, wird in Millisekunden angegeben. Enthalten die Initialisierungsdaten keinen TIME-Block oder keine Zeitangabe, dann kann der Test ohne Zeitbeschränkung bearbeitet werden.

Damit ist die neue Testklasse vollständig definiert und muß lediglich noch für das Testframework verfügbar gemacht werden. Dazu genügt es allerdings, die *.java und die *.class Dateien in das entsprechende Verzeichnis auf dem Testserver zu kopieren.

1. Referenziert ein HTML-Dokument andere Bilder oder andere Elemente, dann sind es streng genommen natürlich mehr als eine Datei. Allerdings gibt es immer noch nur genau ein Top-Level HTML-Dokument, das die gesamte Information direkt oder indirekt beinhaltet.

9.3.2 Erstellen neuer Testinstanzen

Sobald die Testklasse im Testframework verfügbar ist, kann ein Testautor eine Testinstanz erstellen. Diese Arbeit besteht im wesentlichen aus zwei Schritten. Er muß zunächst das Testmaterial erstellen und es danach dem Testframework bekannt machen.

Wie im vorherigen Abschnitt bereits erwähnt, besteht das Testmaterial für einen einfachen Multiple-Choice-Test im wesentlichen aus einem normalen HTML-Dokument mit den Initialisierungsdaten, eingebettet in einen speziellen Kommentar. Dabei muß der Testautor, um die Anbindung an das Testframework zu realisieren, die Vorgaben beachten, die im letzten Abschnitt beschrieben wurden. Keine der Vorgaben bedeutet eine Einschränkung für die Gestaltung des Tests. Daher kann der Testautor zur Darstellung der Fragestellung und der Antworten alle Möglichkeiten ausschöpfen, die ihm HTML, JavaScript, Java etc. bieten. Der Testautor muß lediglich sicherstellen, daß die *testAction()* Methode des Testapplets mit den richtigen Parametern aufgerufen wird, wenn der Schüler eine Antwort auswählt. Soll die Auswahl der richtigen Antwort mittels Radiobuttons erfolgen, so läßt sich dies mit folgendem Code realisieren:

```
<INPUT TYPE=radio NAME=Q1 VALUE=YES
    onclick="testApplet.testAction(this.name,this.value"> Ja
</INPUT>
<INPUT TYPE=radio NAME=Q1 VALUE=NO
    onclick="testApplet.testAction(this.name,this.value"> Nein
</INPUT>
```

Die Realisierung der Erläuterungen zu den einzelnen Multiple-Choice-Fragen ist etwas komplexer. Das Testframework sorgt dafür, daß für jede Erläuterung der Feedback-Mechanismus angestoßen wird. Für den Testautor bedeutet dies, daß das Testmaterial eine JavaScript-Funktion *feedback(Name, Value)* bereitstellen muß, die die Realisierung des Feedbacks übernimmt. Der Wert des Parameters Name legt fest, zu welcher Multiple-Choice-Frage die Erläuterung im Parameter Value gehört. Für die Realisierung der Erläuterung bietet es sich an, Inputfelder für Text zu verwenden, deren Inhalt von der JavaScript-Funktion *feedback()* gesetzt wird. Dazu wird jede Frage oder zumindestens jeder Bereich, der eine Erläuterung anzeigen soll, in ein FORM-Element eingebettet. Dieses FORM-Element bekommt als Attribut Name den Bezeichner der Frage zugewiesen und muß ein INPUT-Element mit TYPE=text und NAME=forfeedback enthalten. Die Erläuterung zum Gesamtergebnis wird ebenfalls über solch ein FORM-Element realisiert. Der einzige Unterschied ist, daß als Attributename der Wert RESULT verwendet wird. Damit erhält man das folgende HTML-Gerüst für das Testmaterial:

```
<FORM ACTION="" METHOD=POST name=Q1>
...
<INPUT TYPE=text NAME=forfeedback VALUE="" SIZE=80></INPUT>
</FORM>
...
<FORM ACTION="" METHOD=POST name=Q2>
...
<INPUT TYPE=text NAME=forfeedback VALUE="" SIZE=80></INPUT>
</FORM>
...
<FORM ACTION="" METHOD=POST name=RESULT>
...
<INPUT TYPE=text NAME=forfeedback VALUE="" SIZE=80></INPUT>
</FORM>
```

Bei Verwendung dieses Gerüsts läßt sich dann die *feedback()* Funktion durch folgenden simplen Code realisieren:

```
<SCRIPT>
function feedback(name,value)
{
    target = eval("document." + name + ".forfeedback");
    target.value = value;
}
</SCRIPT>
```

Mit diesen Informationen und einem HTML- oder Texteditor kann ein Testautor nun beliebige einfache Multiple-Choice-Tests erstellen.

Nachdem der Testautor das Testmaterial erstellt hat, muß er dieses noch in dem Testframework verfügbar machen. Welche Schritte dafür nötig sind, hängt davon ab, wie im Testframework das Testmaterial abgelegt

wird. Im einfachsten Fall, bei dem alles Testmaterial im Dateisystem abgelegt wird, ist dazu im wesentlichen nur das Kopieren des Testmaterials an die entsprechende Stelle im Dateisystem nötig. Beim Entwurf des Testframeworks wurde sichergestellt, daß die Testklassen unabhängig von der Art und Weise der Materialablage sind (siehe dazu auch Abschnitt „8.5.4 Anbindung an ein Lernsystem“). Daher sind die Testklassen universell verwendbar.

Solange die obigen Vorgaben beachtet werden, kann eine neue Testinstanz mit jedem beliebigen HTML-Editor erstellt werden. Dies gilt auch für den zum Test gehörenden Initialisierungsblock. Dieser ist aus der Sicht eines HTML-Editors ein ganz gewöhnliches HTML-Element. Es liegt allerdings allein im Verantwortungsbe- reich des Autors sicherzustellen, daß die Initialisierungsdaten vorhanden und vollständig sind.

Abbildung 69 zeigt ein Beispiel für einen einfachen Multiple-Choice-Test mit zwei Fragen zum Cohen-Sutherland-Clipping-Algorithmus. Bei der ersten Frage muß der Schüler entscheiden, ob eine Aussage wahr oder falsch ist. Bei der zweiten Frage soll der Schüler für unterschiedliche in einem Bild vorgegebene Linien entscheiden, wie viele Schnittpunktberechnungen pro Linie notwendig sind. Bei dieser zweiten Frage handelt es sich genaugenommen nicht um eine Frage, sondern um mehrere einfache Multiple-Choice-Tests mit einer gemeinsamen Aufgabenstellung. Das Bild zeigt eine Umgebung, mit der ein Autor Tests ausprobieren kann. Das linke Frame übernimmt die Rolle des Laufzeitsystems; der Autor kann von diesem Frame aus einen beliebigen Test starten. Das obere Frame enthält das Testapplet. Da es sich bei diesem Test um einen zeitbe- schränkten Test handelt, zeigt das Testapplet die noch verbleibende Zeit an und stellt einen Button zur Verfügung, mit dem der Schüler den Test beenden kann. Das Testmaterial wird im zentralen Frame darge- stellt. In einer richtigen Lernsituation würde ein Schüler nur das obere und das zentrale Frame sehen. Die Auswahl und das Starten eines Tests übernehme dann die Kurssteuerung.

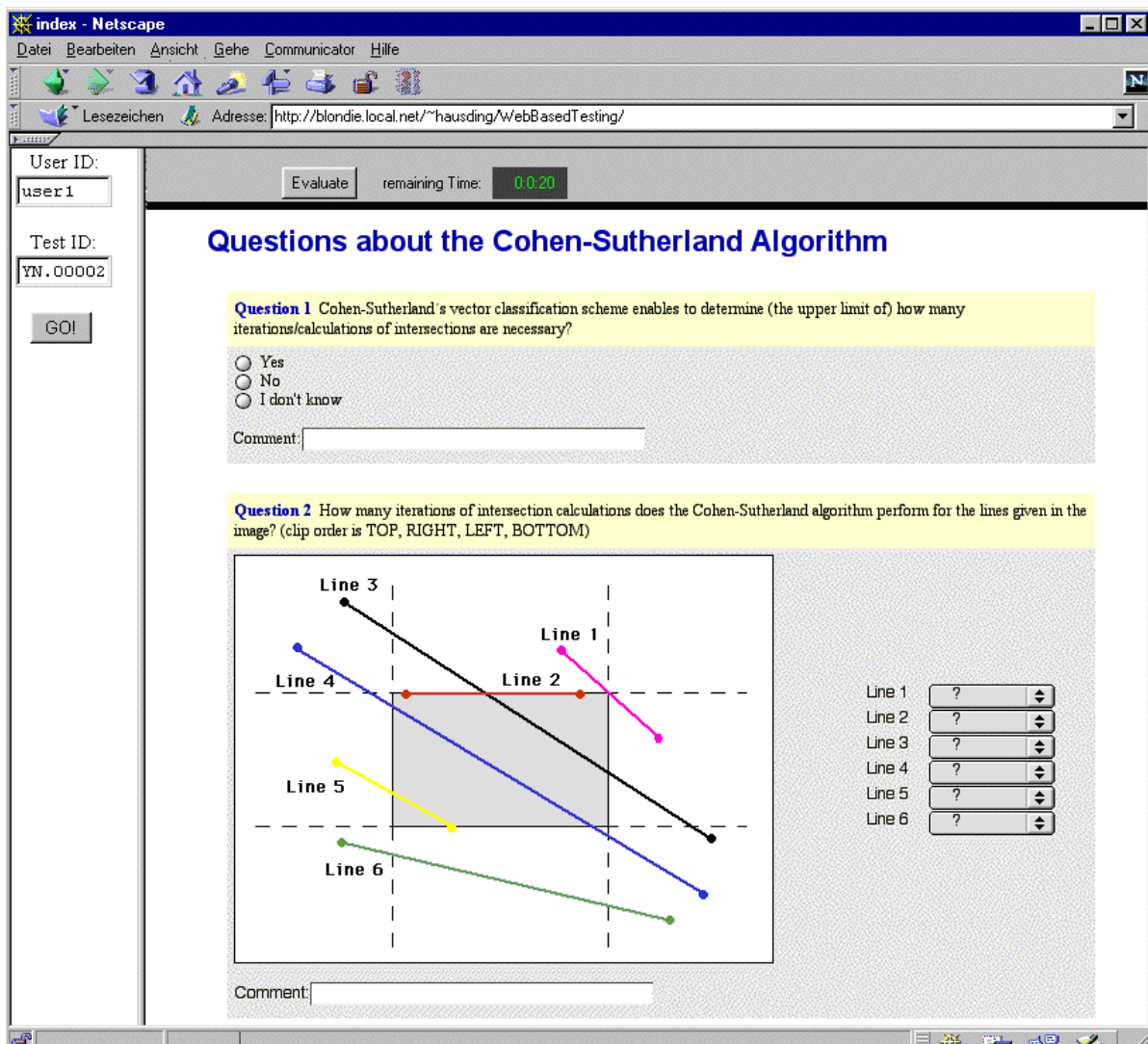


Abbildung 69. Beispiel Multiple-Choice-Test

Da sich bei den einfachen Multiple-Choice-Tests, wie bei nahezu allen Arten von Tests, Codefragmente bzw. zugrundeliegende Strukturen in jedem Test der Testklasse wiederholen, kommt es in der Praxis selten vor, daß ein Autor einen neuen Test für eine bereits existierende Testklasse von Grund auf neu erstellt. In den meisten Fällen wird ein Autor einen neuen Test mittels „Cut & Paste“ erstellen, d.h. er wird entweder einen bereits vorhandenen Test modifizieren und unter einem neuen Namen ablegen oder aber zumindestens die gemeinsamen Codefragmente bzw. Strukturen aus existierenden Tests kopieren. Durch dieses Ausnutzen von gemeinsamen Design Patterns lassen sich Tests einfacher und effizienter erstellen, da nur die inhaltspezifischen Teile des Tests neu erstellt werden müssen, während die Dokumentstruktur weitgehend übernommen werden kann. Obwohl sich so die Erstellung von Tests vereinfachen läßt, bleibt doch das Problem, daß die Spezifikation des Tests auf sehr niedriger Abstraktionsebene erfolgt. Ein Testautor muß sich um alle technischen Details selbst kümmern. Einem programmiertechnisch versierten Testautor gibt das zwar die größtmögliche Freiheit bei der Realisierung eines Tests, da er im Prinzip alles seinen Bedürfnissen bzw. Wünschen anpassen kann; er muß lediglich die Vorgaben der jeweiligen Testklasse beachten. Für einen Testautor mit geringen oder ohne Programmierkenntnisse stellt die niedrige Abstraktionsebene allerdings ein schwerwiegendes, wenn nicht gar unüberwindbares Hindernis dar. Testgeneratoren und Testwizards erlauben es auch dieser Kategorie von Testautoren, effizient neue Tests zu erstellen. Testwizards bzw. Testgeneratoren verfügen über eine Benutzungsschnittstelle, die den Testautor durch die einzelnen Schritte im Erstellungsprozeß eines Tests führt. Dabei versteckt diese Benutzungsschnittstelle die technischen Details und erlaubt stattdessen ein Arbeiten auf logischer Ebene. Testwizards und Testgeneratoren ist gemeinsam, daß der Testautor die logische Struktur des Tests spezifiziert; im Fall des einfachen Multiple-Choice-Tests wäre dies, wie viele Fragen der Test hat, wie viele Antworten für jede Frage vorgegeben werden, und für jede der Antworten die zugehörige Punktzahl und Erläuterung. Der Text der Fragen und der Antworten gehört bereits zum Inhalt des Tests und nicht mehr zur Struktur. Genau in diesem Punkt liegt der Unterschied zwischen einem Testgenerator und einem Testwizard. Ein Testwizard erzeugt aus der Spezifikation der logischen Struktur ein HTML-Dokument, das bereits alle gemeinsamen Codefragmente und auch die grundlegende HTML-Struktur enthält. Den eigentlichen Inhalt muß der Testautor jedoch selbst hinzufügen, aber dazu sind auch geringe Programmierkenntnisse ausreichend. Bei einem Testgenerator dagegen kann der Testautor mit Hilfe der Benutzungsschnittstelle auch den Inhalt auf abstrakter Ebene spezifizieren, und das Ergebnis des Testgenerators ist ein fertiger Test. Da bei dem Testgenerator die Umsetzung von der abstrakten Inhaltsbeschreibung auf den Testcode vollständig automatisch erfolgen muß, gibt es hier mehr Einschränkungen für das Layout, als wenn der Test von Hand erstellt würde.

Das Testframework läßt sich leicht um Testwizards und auch um Testgeneratoren erweitern und eignet sich somit sowohl für erfahrene Programmierer wie auch für reine Inhaltsexperten.

9.3.3 Beispiel für eine interaktive Testklasse

Als Beispiel für einen hochinteraktiven Test mit semantischem Feedback wurde der in Abbildung 70 gezeigte ColorPicker-Test realisiert [82]. Dieser Test zeigt acht unterschiedliche Farben an, und es ist die Aufgabe des Schülers mit Hilfe eines Farbapplets diese Farben selbst zu mischen. Das Farbapplet visualisiert das Mischen einer Farbe aus den drei Grundfarben im RGB-Farbmodell (Rot, Grün und Blau). Der Schüler kann über drei Schieberegler die Anteile der drei Grundfarben festlegen. Sobald er auf diese Weise eine der acht vorgegebenen Farben erzeugt hat, erkennt dies der Test und teilt dies dem Schüler mittels semantischen Feedbacks mit. Bei diesem Test gibt es keine Zeitbeschränkung, sondern er endet, sobald der Schüler alle acht Farben gemischt hat.

Jedesmal wenn der Schüler die Farbe ändert, muß überprüft werden, ob die neue Farbe mit einer der vorgegebenen und vom Benutzer noch nicht erzeugten Farben identisch ist¹. Tritt dieser Fall ein, so wird dem Schüler mitgeteilt, wie viele der Farben er jetzt noch finden muß. Da der Test für die Überprüfung, ob die eingestellte Farbe eine der vorgegebenen Farben ist, die Farbwerte der vorgegebenen Farben kennen muß, muß die Überprüfung auf dem Server stattfinden. Dazu verwendet man das Testereignis „color“, das dem Testobjekt auf dem Server mitteilt, daß der Benutzer die Farbe geändert hat. Als Value-Parameter übergibt man dabei den neuen Farbwert. Das Farbapplet gibt das Testereignis über die JavaScript-Schnittstelle an das Testapplet weiter, welches es dann an das entsprechende Testobjekt auf dem Testserver weiterreicht. Dort wird das Testereignis protokolliert und dann an die *evalAction()* Methode des Testobjekts übergeben, die etwas vereinfacht so aussieht:

```
public void evalAction(TestEvent e) {
    if( matchColor(e.value) ) {
        // Es ist eine der gesuchten Farben
```

1. Der Autor kann vorgeben, wie groß die Toleranz dafür ist, daß zwei Farben als identisch betrachtet werden.

```

int n = countColorsFound();

if( n = 8 ) {
    feedback( "test", "Test bestanden" );
    stopTest();
}
else {
    feedback( "test", "Anzahl gefundener Farben" + n);
}

```

Wird bei der Überprüfung des neuen Farbwertes eine Übereinstimmung mit einem der gesuchten Farbwerte festgestellt, dann löst das Testobjekt über die `feedback()` Methode ein semantisches Feedback aus. Dabei wird ein Name-Value-Paar erzeugt, dessen Value-Parameter den Feedbacktext enthält. Dieses Name-Value-Paar wird an das TestApplet übermittelt, das es dann an das Testmaterial weitergibt, genauer gesagt an die JavaScript-Funktion `feedback()`. Diese sorgt dann dafür, daß das Testmaterial aktualisiert wird.

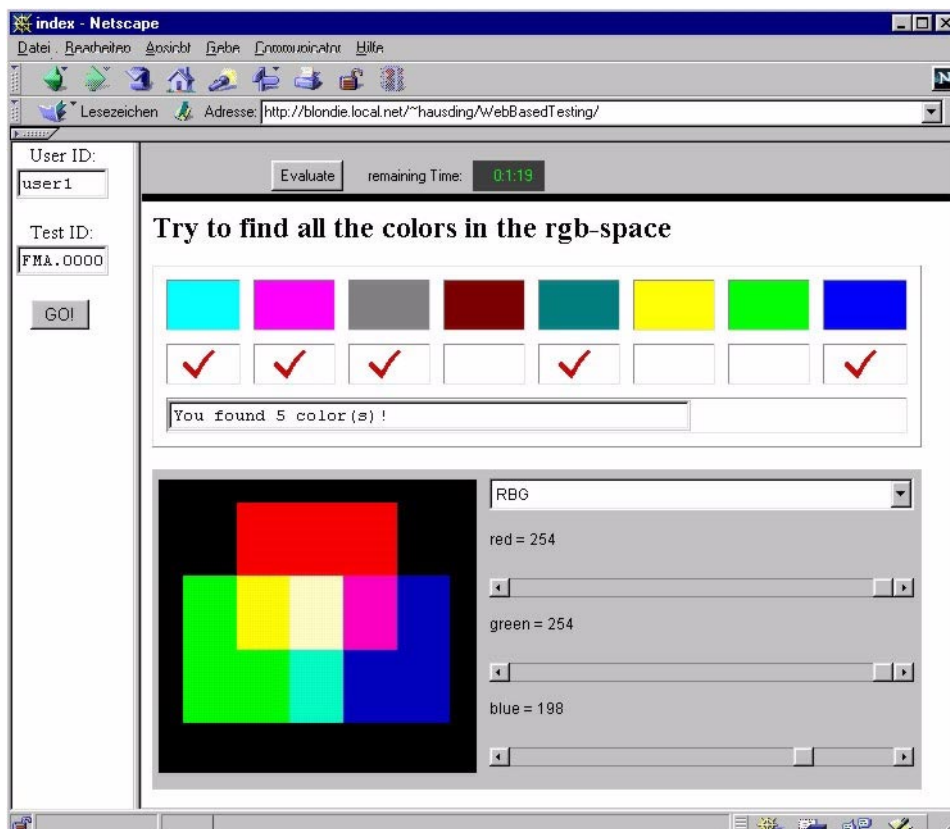


Abbildung 70. Color-Picker-Test

Jede Benutzerinteraktion mit einem der Schieberegler erzeugt ein Testereignis oder eine Reihe von Testereignissen. Unter Umständen wird auch dann ein Testereignis zur Auswertung an den Server gesendet, wenn sich die Farbe überhaupt nicht geändert hat. Wenn ein Schieberegler um 20 Stellen bewegt wird, dann werden mindestens 20 Testereignisse an den Server gesandt. Um Erfahrungen mit dem Verhalten des Feedback-Mechanismus bei starker Beanspruchung sammeln zu können, wurde bewußt darauf verzichtet, die Anzahl der Testereignisse zu optimieren (z.B. indem man Testereignisse, die den Zustand des Tests nicht entscheidend verändern, bereits auf dem Client herausgefiltert). Es zeigte sich, daß, selbst wenn ein Schieberegler permanent und schnell von links nach rechts und umgekehrt bewegt wurde, wodurch mehrere hundert Testereignisse ausgelöst wurden, die alle vom Testframework verarbeitet werden mußten, die RMI-Verbindung stabil arbeitete und der Schüler keine merkbaren Verzögerungen beim Feedback feststellen konnte.

Dieser Test ist ein gutes Beispiel für fortschrittliche Testformen. Dieser Test ließe sich in dieser Form zur Bewertung eines Schülers einsetzen. Genauso gut läßt er sich aber auch für Explorations- oder gar Lernzwecke einsetzen. Die Bewertung des Lernerfolgs kann das Kurslaufzeitsystem in diesem Fall dazu verwenden, den weiteren Verlauf des Kurses zu bestimmen. Es ist sogar möglich, noch einen Schritt weiterzugehen und das Feedback so zu erweitern, daß es dem Schüler Hinweise gibt, z.B. wenn er sich von einem gesuchten Farbwert entfernt, anstatt sich ihm weiter zu nähern.

10.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde gezeigt, daß die Verwendung von modularem Lernmaterial eine Reihe von Vorteilen bietet. Sie erlaubt die Mehrfach- und Wiederverwendung von Lernmaterial und trägt damit wesentlich zur Kostensenkung bei der Entwicklung von Lernmaterial bei. Daneben erlaubt sie die Anpassung von Kursen an die speziellen Bedürfnisse eines Schülers, entweder zum Zeitpunkt der Kurszusammenstellung oder auch dynamisch im Verlauf des Kurses. In dieser Arbeit wurde auch gezeigt, wie sich durch eine geeignete Wahl der Modulkategorien beim Erstellen von Lernmaterial eine klare Separierung der unterschiedlichen Expertiseebenen erreichen läßt. Dies führt dazu, daß jeder Experte sich nur mit den Aspekten beschäftigen muß, die für ihn von Relevanz sind. Das erlaubt ein intuitiveres und effizienteres Arbeiten der einzelnen Experten. Es spiegelt auch die Tatsache wieder, daß das Erstellen von Lernmaterial ein kooperativer Prozeß ist und unterstützt dies sowohl auf konzeptioneller als auch auf technischer Ebene.

Mit der Implementierung des MTS in DEDICATED und IDEALS wurde die Tragfähigkeit dieser konzeptionellen Überlegungen nachgewiesen, und es wurden wertvolle Erkenntnisse gesammelt, wie sich ein derartiges modulares Konzept in die Praxis umsetzen läßt. Insbesondere wurde gezeigt, welche Punkte bei einer WWW-basierten Umsetzung zu beachten sind. Es wurden auch Verbesserungsmöglichkeiten vorgestellt, die die Grundlage für die Entwicklung eines zukünftigen, verbesserten Lernsystems sein sollten. Die wesentlichen Erweiterungen noch einmal kurz zusammengefaßt sind:

- ▶ Die verwendeten Referenzierungsmechanismen erlauben eine site-unabhängige Ansprache von Lernmaterial und auch die inhaltsbasierte Ansprache. Referenzen lassen sich individualisieren und über intelligente Referenzen läßt sich auch das Verhalten bei mehrfacher Ausführung kontrollieren. Trotz dieser vielfältigen Erweiterungen in der Funktion erfolgt die Darstellung in einer HTML-konformen Art und Weise, was ein einfaches Erstellen und Ändern von HTML-basiertem Lernmaterial mit Standard-HTML-Werkzeugen erlaubt.
- ▶ Das Lernmaterial wird nicht mehr notwendigerweise in einer Datenbank abgelegt. Damit läßt sich das Spektrum dessen, was als Lernmaterial verwendbar ist, beträchtlich erweitern.
- ▶ Verbesserung in der Ablage der Selbstbeschreibungen und der Materialdaten für Lernmaterial. Damit lassen sich dieselben Materialdaten in mehreren Kontexten verwendet. Um existierendes Lernmaterial für weitere Kontexte zu erschliessen, muß das Lernmaterial (Materialdaten) nicht mehr kopiert werden, sondern es reicht aus, ihm eine weitere Selbstbeschreibung zuzuordnen.
- ▶ Lernmaterial kann in unterschiedlichen Versionen vorliegen. Referenzen erlauben, dem Autor festzulegen, ob eine spezifische Version oder die jeweils aktuellste Version verwendet werden soll.
- ▶ Implementierung als eigenständige Anwendung. Hier bietet sich eine Java-basierte Implementierung an. Denn Java erlaubt eine plattformunabhängige Implementierung und ist speziell auf den Einsatz in Netzwerken ausgelegt. Java verfügt auch über integrierte Sicherheitsmechanismen, Java Cryptography Extensions (JCE). Vor allem aber erlaubt es das Klassenkonzept in Kombination mit dem Serialisierungsmechanismus, auch zur Laufzeit noch neue Klassen zu definieren und Objekte dieser Klasse genauso wie Objekte existierender Klassen extern abzuspeichern und wieder einzulesen. Somit ist das MTS nicht auf einen vorgegebenen Funktionsumfang beschränkt, sondern ist fast beliebig erweiterbar. Damit wird es möglich, erkannte Design Patterns nachträglich vollständig in das MTS zu integrieren. Dadurch eignet sich MTS auch für die Erforschung solcher Design Patterns.
- ▶ Verlagerung der Kurssteuerung auf die Clientseite. Damit entfallen all die Probleme, die aus der Verteilung der Kurssteuerung sowohl auf die Client- als auch auf die Serverseite resultierten (Laufzeitprobleme, verlorengegangene Kommandos, Synchronisierung usw.). Der Benutzer interagiert direkt mit der Kurssteuerung, dadurch ist diese über alle Aktionen des Benutzers informiert und kann wirklich als Vermittler zum Rest des Systems dienen.
- ▶ Die Unterstützung von generischen Lernmaterialklassen reduziert den Aufwand für den Autor und erlaubt es, die logische Funktionalität von Lernmaterial auch besser zum Ausdruck zu bringen.

Es stellte sich schnell heraus, daß für die Umsetzung eines Lernsystems die Sicherheit von besonderer Bedeutung ist. Daher wurde auch intensiv auf diesen Aspekt eingegangen. Zunächst wurde in der Arbeit auf die allgemeinen Sicherheitsaspekte beim Lernen eingegangen und Lösungsmöglichkeiten vorgestellt.

Der Schutz vor unberechtigten Zugriffen kann durch existierende Verfahren realisiert werden. Die wichtigsten dieser Verfahren wurden kurz vorgestellt.

Ein wichtiges Problem für das Lernen ist die Benutzerauthentisierung. Nach einem Überblick über die wichtigsten Verfahren zur Benutzerauthentisierung wurde erläutert, welche speziellen Anforderungen beim Lernen an die Benutzerauthentisierung gestellt werden und warum man im Gegensatz zu normalen Anwendungen beim Lernen auch rechtmäßigen Benutzern nicht trauen darf und daher die Benutzerauthentisierung prinzipiell immer eine Sicherheitslücke darstellt. Da das Maß der notwendigen Sicherheit auch zu einem großen Teil von dem Einsatzgebiet abhängt, wurden die dafür relevanten Kriterien vorgestellt. Anschließend wurden verschiedene Ansätze besprochen, mit denen man versuchen kann, dennoch ein akzeptables Maß an Sicherheit zu realisieren.

Auch wurde darauf eingegangen, wie sich das Urheberrecht schützen läßt und die unberechtigte Nutzung und Weitergabe von Lernmaterial vermeiden läßt. Dieser Punkt ist deshalb von besonderem Interesse, weil das Lernmaterial das eigentliche Kapital eines Trainingsproviders darstellt. Mit *CIPRESS* wurde eine Lösung vorgestellt, mit der sich ein Höchstmaß an Sicherheit gewährleisten läßt. Eine der Hauptvoraussetzungen für *CIPRESS* ist die volle administrative Kontrolle über die Umgebung in der das Training stattfindet. Daher eignet sich *CIPRESS* auch vor allem für den Einsatz in Intranets. Ferner wurde darauf eingegangen, wie die Sicherheit auch beim Internet-basierten Lernen, bei dem es keine derartige administrative Kontrolle gibt, realisiert werden kann.

Abschließend wurde auf die Lernerfolgskontrolle eingegangen. Dies ist ein sehr spezifischer Aspekt, da hier die Sicherheit auf das innigste mit der Verwendung des Lernmaterials verknüpft ist. Ausgehend von allgemeinen Betrachtungen zur Lernerfolgskontrolle wurde gezeigt, wie sich ein Testframework realisieren läßt, das die zusätzlichen Testfunktionalitäten bereitstellt, die dem WWW fehlen. Die wichtigsten Designziele bei dem Entwurf und der Realisierung waren:

- ▶ Plattformunabhängigkeit
- ▶ Offenheit
- ▶ Interaktivität
- ▶ Sicherheit
- ▶ Erweiterbarkeit
- ▶ Ausnutzung von Testmustern
- ▶ Einfache Testerstellung

Dieses Testframework wurde als eine Client-Server-basierte Erweiterung zu einem WWW-basierten Lernsystem realisiert, und es stellt die folgenden zusätzlichen Dienste bereit:

- ▶ Sichere und garantierte Materialauslieferung
- ▶ Sichere Testauswertung
- ▶ Zuverlässige Zeitüberwachung
- ▶ Behandlung von Testereignissen
- ▶ Erzeugung von Feedback

Die Sicherheit dieser Dienste resultierte in den meisten Fällen daraus, daß sicherheitskritische Funktionalitäten auf der vertrauenswürdigen Serverseite realisiert wurden. Anhand eines Beispiels wurde gezeigt, wie sich mit dem Testframework ein Test realisieren läßt. Um nachzuweisen, daß mit dem Testframework nicht nur traditionelle Testformen realisierbar sind, sondern auch interaktive Formen mit direktem (semantischem) Feedback, wurde auch ein Beispiel für einen derartigen Test beschrieben.

10.2 Aufgabengebiete für zukünftige Arbeiten

Im folgenden wird dargelegt, in welchen Bereichen die Möglichkeit bzw. die Notwendigkeit für weitere Entwicklungs- und Forschungsaktivitäten besteht.

10.2.1 Weiterentwicklung im Bereich MTS

Betrachtet man das Lernsystem (MTS), erkennt man folgende Gebiete für weitere Aktivitäten.

Entwicklung im WWW

Im Bereich WWW schreitet die Entwicklung rasant fort, sowohl was die technischen Möglichkeiten als auch die praktischen Einsatzmöglichkeiten angeht. Dies eröffnet auch immer wieder neue Möglichkeiten in Bereich Lernen. Innerhalb kürzester Zeit treten neue Technologien oder Standards in Erscheinung oder neue Versionen bekannter Technologien oder Standards. Diese Weiterentwicklungen gilt es auch für das MTS verfügbar

zu machen, um es auf dem aktuellen Stand zu halten. Mit der Verwendung eines WWW-Browsers für die Kursdarstellung wurde dafür bereits die Grundlage gelegt. Die wichtigsten Entwicklungen auf diesem Gebiet dürften die folgenden sein:

- ▶ **Weiterentwicklung der WWW-Browser.** Die Entwicklung der WWW-Browser schreitet immer mehr voran, und jede neue Version unterstützt neue Features und Möglichkeiten. Daher muß die MTS-Implementierung kompatibel zu den jeweils aktuellen Browserversionen gehalten werden. Da fertig verfügbare Komponenten existieren, die die Funktionalität zur Darstellung von WWW-Inhalten bereitstellen, und die Benutzungsschnittstelle eines WWW-Browsers nicht unbedingt den Anforderungen eines Lernsystems entspricht, ist zu überprüfen, ob man nicht besser daran täte eine eigene Clientanwendung zu entwickeln, die den Bedürfnissen des Schülers besser entspricht als ein WWW-Browser (siehe hierzu auch Abschnitt „Verwendung eines WWW-Browsers versus selbst-entwickelter Anwendung“ auf Seite 89).
- ▶ **WWW-Erweiterungen.** Ständig werden neue Erweiterungen für das WWW entwickelt, die neue Datenformate für das WWW erschließen. Zu diesen Erweiterungen gehören die Streamingformate für Audio und Video (RealAudio, RealVideo, Quicktime usw.), Plugins für die unterschiedlichsten Datenformate und Anwendungen, Java, JavaScript und Servererweiterungen, die das dynamische Erstellen von Inhalten erlaubt (CGI, Servlets, Active Server Pages, Java Server Pages, PHP). Hier gilt es den Überblick zu behalten und die nützlichen Erweiterungen zu übernehmen. Noch immer fehlt es an etablierten Erweiterungen für solch wichtige Formate wie Vektorzeichnungen und Formeln.
- ▶ **Übergang von HTML zu XML.** Eine der kurz- bzw. mittelfristig wichtigsten Entwicklungen dürfte der Übergang von HTML [47] zu XML [48] sein. Besonders interessant ist aus Sicht eines modularen Lernsystems, daß durch den Einsatz von Style Sheets die Struktur von der Gestaltung separiert werden kann und sich ein einheitliches Aussehen des Lernmaterials gewährleisten läßt. Aus praktischer Sicht ist es auch von Vorteil, daß es für XML Erweiterungen für Vektorzeichnungen (WebCGM [60]) und Formeln (MathML [61]) gibt.

Systementwicklung

In Kapitel 4 wurden bereits Möglichkeiten zur Verbesserung und Erweiterung des MTS beschrieben. Diese Vorschläge sollten umgesetzt werden. Neben diesen Entwicklungen, die alle in der einen oder anderen Form mit dem Lernmaterial bzw. mit den Laufzeitaspekten des MTS verbunden sind, gibt es auch andere Gebiete, auf denen weitere Arbeiten notwendig sind:

Ein weites Betätigungsfeld ist die Entwicklung von Werkzeugen für die Autoren, Tutoren und Administratoren. Interessante Fragestellung in diesem Bereich sind:

- ▶ Wie kann ein Administrator die Qualität von Lernmaterial beurteilen bzw. diese sicherstellen?
- ▶ Wie läßt sich ein einheitliches Look and Feel des Lernmaterials erreichen?
- ▶ Wie kann ein Autor einen Kurs testen, der sich dynamisch an den Schüler anpaßt?
- ▶ Wie kann sich ein Tutor einen Überblick über die Aktionen und den Wissensstand eines Schülers verschaffen, um diesem bei Problemen helfen zu können oder um ihn bewerten bzw. beraten zu können?
- ▶ Im Bereich des Benutzerprofils stellt sich die Frage, wie sich aus den im Benutzerprofil aufgezeichneten Aktionen eines Schülers, Rückschlüsse auf übergeordnete Inhalte ziehen lassen. Eine andere Frage in diesem Zusammenhang ist auch, ob und wie Profileinträge altern.
- ▶ Aus Sicht der Sicherheit gibt es das Problem der Verlässlichkeit der Benutzerprofildaten. Ein Lösungsansatz hierzu könnte sein, die Lernerfolgskontrolle in die Wissensvermittlung zu integrieren (siehe Abschnitt „Authentisierung durch Plausibilitätsanalyse bei integrierter Lernerfolgskontrolle“ auf Seite 121). Hieraus resultiert die Fragestellung, ob es möglich ist, in den Benutzerprofildaten Indikatoren zu finden, die es erlauben, Manipulationen zu erkennen.
- ▶ Die Beschreibung von Inhalten ist eine essentielle Grundlage für die Selbstbeschreibungen, die inhaltsbasierte Ansprache von Lernmaterial sowie für das Benutzerprofil. Es stellt sich die Frage, wie sich Inhalte beschreiben lassen. Dabei gibt es durchaus sich widersprechende Anforderungen, denn die Beschreibung soll einerseits möglichst exakt und andererseits auch für einen Benutzer, der kein Experte für Inhaltliche Beschreibungen ist, leicht verständlich und erstellbar sein.
- ▶ Welche weiteren Lernservices wären es wert, in MTS integriert zu werden? Mögliche Kandidaten sind z.B. das Finden eines Tutors, Diskussionsforen oder organisatorische Dienste, wie die Anmeldung zu einer Prüfung, Information über wichtige Termine usw..

Design Pattern

In Abschnitt „Wiederverwendung von Design Patterns“ auf Seite 28 wurde gezeigt, welche Vorteile die Ausnutzung von Design Patterns bietet und wie die Unterstützung realisiert werden kann. Dazu müssen zum

einen entsprechende Werkzeuge (Wizards bzw. Unterstützung für generisches Lernmaterial) implementiert werden. Zum anderen müssen aber die lerntypischen Design Patterns zuerst identifiziert werden, bevor sie in werkzeuggerechter Form aufgearbeitet werden können.

Gruppenlernen

Eine interessante Fragestellung ist auch, ob und wie sich das Arbeiten in Gruppen unterstützen läßt. Der Austausch von unterschiedlichen Ansichten und Meinungen zwischen den Mitgliedern ist förderlich für den Lernerfolg. Darüberhinaus vermittelt das Arbeiten in der Gruppe den Schülern die für das Arbeitsleben notwendigen sozialen Fähigkeiten, denn auch dort wird in der Regel in Teams gearbeitet. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie sich Gruppenlernen mit dem WWW realisieren läßt. Wie finden sich die Gruppen, und, wenn sie sich gefunden haben, wie kooperieren sie miteinander? Es gibt da eine Reihe von technischen Möglichkeiten wie Application Sharing, Audio- und Videokonferenzen, Chats, Newsgroups oder E-Mails, aber allen ist gemein, daß sie nicht dieselbe Qualität wie direkte Mensch-zu-Mensch-Kommunikation bieten können. Ein weiteres Problem ist auch das Benutzerprofil und die Bewertung der einzelnen Schüler beim Gruppenlernen.

Aufbau von Lern-Communities

Insbesondere für ein System wie MTS, bei dem die Mehrfach- und Wiederverwertung von Lernmaterial ein zentrales Konzept ist, ist der Aufbau eines Netzwerks von kooperierenden Partnern eine Notwendigkeit, aber dies gilt gleichermaßen für jede Art von Lernsystem. Im WWW-Jargon bezeichnet man einen losen Zusammenschluß von Nutzern mit gleichartigen Interessen ohne organisatorischen Überbau, die Erfahrungen austauschen und sich gegenseitig helfen, auch oft als Community. Bilden sich also Lern-Communities, innerhalb derer gemeinsam Lernmaterial erstellt und auch gegenseitig zur Verfügung gestellt wird, dann hat das für jeden der Beteiligten den Vorteil, daß er ohne großen Aufwand seinen Bedürfnissen entsprechendes Lernmaterial zur Verfügung gestellt bekommt oder Partner finden kann, mit denen er gemeinsam Lernmaterial erstellen kann. Diese Allianzen bilden sich je nach Bedarf und enden mit dem Erreichen des konkreten Zieles. Hier besteht die Hoffnung, daß sich aus solchen informellen Zusammenschlüssen mit der Zeit feste Strukturen und einheitliche Standards (gemeinsame Vorgaben und Lehrpläne) entwickeln. Beispiele für solche Communities sind INEIT-MUCON [68] oder the e-Learning Hub of WebCT (www.webct.com).

Vor allem im universitären Umfeld kann man sich vorstellen, daß der Austausch von Lernmaterial nur der erste Schritt in Richtung vernetztes Lernen und Lehren ist. Hier ist die Vision, daß sich die einzelnen Universitäten zusammenschließen und eine einzige virtuelle Universität bilden, quasi gemäß dem Motto „Das Netz ist die Universität“. Ein Student immatrikuliert sich zwar noch immer bei einer bestimmten Universität, und diese Universität stellt später auch den Abschluß aus. Über seine Universität kann der Student aber auf jeden Kurs zugreifen, der in irgendeiner der vernetzten Universitäten angeboten wird. Von technischer Seite gibt es keine grundsätzlichen Probleme hinsichtlich der Umsetzbarkeit dieser Vision. Anders ist es mit den administrativen und organisatorischen Aspekten dieser Vision. Hier müssen Fragen gelöst werden wie: Wie lassen sich Bewertungen für Kurse oder Abschlüsse von Universität A nach Universität B übernehmen? Dafür und generell für die Zusammenarbeit von mehreren Universitäten bedarf es eines gemeinsamen Curriculums, und es gilt viele rechtliche und organisatorische Fragen zu klären. Wegen dieser organisatorischen und administrativen Schwierigkeiten und wegen der unterschiedlichen rechtlichen Ausgangslagen dürfte diese Vision auch eine Utopie bleiben. Das so etwas dennoch möglich ist, zeigt die Tatsache, daß es Studenten der Ecole Centrale de Lyon und der Technischen Universität Darmstadt möglich ist, ein Doppeldiplom in den Bereichen Elektrotechnik, Informatik, Mathematik und Materialwissenschaften abzulegen. Hier gelang es auf bilateraler Basis, die entsprechenden Voraussetzungen zu schaffen [136]. Wahrscheinlicher ist jedoch, daß sich einzelne Universitäten oder Professoren wie im IDEALS-IHE-Demonstrationsszenario zusammenschließen, um gemeinsam Lernmaterial zu erstellen, das dann in den jeweiligen Vorlesungen zum Einsatz kommt (siehe „IHE-Szenario“ auf Seite 169).

10.2.2 Weiterentwicklung im Bereich Sicherheit

Mit dem zunehmenden kommerziellen Interesse am WWW rückt auch die Frage der Sicherheit immer mehr in den Brennpunkt des Interesses und wird Gegenstand der Entwicklung und Forschung.

Technische Entwicklung

So ist es sicherlich von Interesse, zu verfolgen, welche Sicherheitstechnologien auf den Markt kommen und – mehr noch – welche sich etablieren. Die Lockerung der Exportrestriktionen für Sicherheitstechnologie durch die Regierung der Vereinigten Staaten von Amerika dürfte einigen Einfluß auf die weitere Entwicklung bei uns haben. Sicherheit wird immer mehr zu einem integralen Bestandteil von Programmiersprachen (z.B. Java Cryptography Extensions) oder auch Betriebssystemen. Dadurch läßt sich die Sicherheit besser gewährlei-

sten als durch Erweiterungen, die nachträglich installiert werden und versuchen ein System abzusichern, bei dessen Konzeption Sicherheitsüberlegungen keine oder nur eine untergeordnete Rolle gespielt haben. Allerdings sind diese Neuerungen erst relativ kurz verfügbar, daher dürfte es auch noch einige Zeit dauern, bis genaue Erfahrungen vorliegen, wie sicher diese Mechanismen in der Praxis sind und die Kinderkrankheiten der Implementierungen ausgemerzt worden sind. Da eine absolute Sicherheit nicht möglich ist, muß als Maß für die Sicherheit oft das technisch Machbare genügen. Bestes Beispiel hierfür ist die Schlüssellänge bei Verschlüsselungsverfahren. Die rasant zunehmende Leistungsfähigkeit der Rechner und auch die Vernetzung ist daher eine Gefahr für die Sicherheit, weil sie die Grenzen dessen, was machbar ist, immer weiter hinauschiebt. Hier bleibt abzuwarten, was die Zukunft bringt, größere Schlüssellängen oder neue Verschlüsselungsverfahren. Auf Ebene des Netzwerks steht die Einführung von IPv6 unmittelbar bevor, und es bleibt abzuwarten, welche Auswirkungen dies auf die Praxis haben wird. Neben der technischen Weiterentwicklung in den Gebieten wie Firewalls und VPNs dürfte es auch von Interesse sein, zu beobachten, was sich im Bereich E-Commerce oder Digitale Zahlungssysteme entwickelt.

Rechtliche Entwicklungen

Neben den technischen Entwicklungen muß man auch die rechtlichen Entwicklungen im Auge behalten, da sie die Rahmenbedingungen für den Einsatz der technischen Möglichkeiten festlegen. Die meisten gesetzlichen Regelungen stammen aus der Zeit vor dem Aufkommen des WWW und berücksichtigen daher weder die neuen Möglichkeiten noch die Probleme, die mit dem Einsatz des WWW verbunden sind. Auch die Tatsache, daß das WWW sich über die Ländergrenzen erstreckt, rechtliche Regelungen aber nur innerhalb der jeweiligen Ländergrenzen gelten, ist ein Problem. Es müssen daher die bestehenden Gesetze überarbeitet bzw. neue Gesetze geschaffen werden. Und vor allem besteht auch der Bedarf zur globalen Harmonisierung dieser Gesetze.

Benutzerauthentisierung

Die Chipkartentechnologie ist technisch gesehen zwar reif für den praktischen Einsatz, hat sich aber noch nicht als Standardtechnologie etabliert. Biometrische Verfahren zeigen zwar vielversprechende erste Ergebnisse sind aber, von einigen Ausnahmen abgesehen, noch nicht reif für den praktischen Betrieb. Die Entwicklung in diesem Bereich sollte jedoch aufmerksam verfolgt werden. Dennoch gibt es zwei konzeptionelle Aspekte, aufgrund derer die Benutzerauthentisierung beim Lernen immer ein Schwachpunkt bleiben wird.

- ▶ Der Benutzerauthentisierung kann man nur trauen, wenn man dem Administrator, der die dafür benötigte Soft- bzw. Hardware installiert hat, trauen kann, was im WWW-basierten Training jedoch nicht notwendigerweise der Fall ist, etwa wenn der Schüler zu Hause lernt.
- ▶ Generell kann man mit den Verfahren zur Benutzerauthentisierung bestenfalls sicherstellen, daß sich niemand ohne Zustimmung oder Mitwirkung des rechtmäßigen Nutzers für diesen ausgeben kann und sich seine Rechte aneignen kann. Daher sind diese Verfahren nutzlos, um sicherzustellen, daß nur der rechtmäßige Benutzer selbst mit dem System arbeitet und nicht anderen Personen erlaubt, an seiner Stelle mit dem System zu arbeiten.

Es wäre den Versuch wert, zu erproben, wie man Kurse aufbauen kann, bei denen es einem Schüler keine Vorteile bringt, die Benutzerauthentisierung zu manipulieren.

CIPRESS

Mit dem CIPRESS-System läßt sich Lernen mit einem Höchstmaß an Sicherheit realisieren. Aus Sicht des Anwendungsszenarios Lernen wäre es wünschenswert, wenn das CIPRESS-System auf möglichst vielen Plattformen verfügbar wäre. Auch sollte es möglich sein, daß CIPRESS-Clients mit mehreren unterschiedlichen Key Centers zusammenarbeiten. Dazu bedarf es Mechanismen zur Synchronisierung der einzelnen Key Center.

Digitale Wasserzeichen

Da im Bereich CAL der Schüler fast ausschließlich lesend auf Dokumente zugreift und diese nicht modifiziert, ist dieses Gebiet gut geeignet für den Einsatz von digitalen Wasserzeichen. Ein besonderer Vorteil ist dabei, daß der Einsatz von Wasserzeichen transparent erfolgt und daher prinzipiell bei jedem Lernsystem verwendbar ist. Ein Autor muß bei der Erstellung von Lernmaterial lediglich digitale Wasserzeichen in das Lernmaterial einfügen, bevor er es zur Verwendung freigibt.

Praktikable Verfahren für digitale Wasserzeichen existieren momentan für Pixelbilder, Video und Audio. Verfahren für geometrische Daten sind noch in einem experimentellen Stadium. Es ist eine offene Frage, ob sich digitale Wasserzeichen überhaupt für Text oder Programmcode realisieren lassen. Generell bräuchte man Verfahren für jede Art von Lernmaterial. Wasserzeichen haben generell den Nachteil, daß sie keine Präventiv-

wirkung haben, sondern nur im Nachhinein zum Einsatz kommen können, d.h. sie verhindern den Mißbrauch nicht, ermöglichen jedoch den Nachweis, daß Mißbrauch getrieben wurde. Damit kann der rechtmäßige Eigentümer vor Gericht den Mißbrauch ahnden lassen. Aber wie das alte Sprichwort sagt: „Wo kein Kläger, da kein Richter“. Ein Eigentümer muß einen Mißbrauch zuerst entdecken, bevor er ihn vor Gericht bringen kann. Automatische Verfahren zur Erkennung von Mißbrauch wären hier hilfreich.

10.2.3 Weiterentwicklung im Bereich Lernerfolgskontrolle

Das in Kapitel 8 vorgestellte Testframework wurde als ein offenes und erweiterbares System realisiert, das in ein beliebiges WWW-basiertes Lernsystem integrierbar ist. Im Rahmen seiner Entwicklung wurde das Zusammenspiel mit einem normalen WWW-Server und dem MTS-System – als zwei Vertretern von Lernsystemen – getestet. Es wäre wünschenswert, das Zusammenspiel mit anderen Lernsystemen zu erproben.

Die objektorientierte Systemarchitektur des Testframeworks erlaubt es, die Gemeinsamkeiten, die eine Testart ausmachen, in eine eigene Testklasse zu kapseln und diese dann immer wieder zu verwenden (siehe Abschnitte „9.3.1 Erstellen und Hinzufügen neuer Testklassen“ und „9.3.2 Erstellen neuer Testinstanzen“). Hier ist es notwendig, die vorhandenen Testklassen zu erweitern. Dies beinhaltet neben der Identifikation von allgemeinen Testmustern und deren Umsetzung in eine Testklasse auch die Entwicklung von Werkzeugen, mit denen ein Autor neue Testobjekte erzeugen kann. Eine interessante Frage ist dabei, wie weit sich pädagogische oder didaktische Aspekte durch solche Werkzeuge unterstützen lassen.

Das Testframework war von Beginn an auch dafür gedacht, hochinteraktive Testformen zu realisieren. Durch das Feedback des Testmaterials wird dem Schüler geholfen, zu der richtigen Lösung zu gelangen, und ihm so Gelegenheit gegeben, Probleme zu lösen und dabei aus den Erfahrungen zu lernen. Derartige Formen der Wissensvermittlung mit integrierter Lernerfolgskontrolle und darauf basierendem Feedback stellen eine große Bereicherung für das Lernen dar, und sind sie eine der attraktivsten Möglichkeiten, die das Computer-unterstützte Lernen bietet. Es gibt zwar auch jetzt schon Anwendungen, die diese Gedanken verfolgen, wie z.B. AgentSheets [69], allerdings handelt es sich dabei zumeist um Spezialanwendungen, die genau einen bestimmten Inhalt abdecken. Hier wäre es eine interessante Fragestellung, ob man auch hier allgemeine Muster finden und diese in eine wiederverwendbare Testklasse überführen kann. Ein Problem bei dieser Art von intelligenten Tests ist die Interpretation der Benutzeraktionen. Soll nicht nur einfaches Faktenwissen sondern abstrakteres Wissen vermittelt werden, dann wird die Interpretation der Benutzeraktionen zu einem nichttrivialen Problem. Dabei ist es nicht nur problematisch, überhaupt zu einer richtigen Interpretation zu kommen – etwa über Verfahren aus dem Bereich Künstliche Intelligenz, was in der Regel mit einem beträchtlichen Rechenaufwand verbunden ist – sondern diese Interpretation muß auch innerhalb einer relativ kurzen Zeitspanne erfolgen, um ein richtiges Feedback gewährleisten zu können.

10.2.4 Neue Lernformen

Es soll an dieser Stelle nicht darüber spekuliert werden, ob das Aufkommen des WWW und des Internets, wie oftmals suggeriert, in seiner Bedeutung gleichzustellen ist mit der Erfindung des Buchdrucks oder der industriellen Revolution und den Beginn einer tiefgreifenden gesellschaftlichen Veränderung markiert (Informationsgesellschaft), aber es steht zweifelsohne fest, daß auf dem Gebiet Lernen in naher Zukunft tiefgreifende Veränderungen stattfinden werden. Bork [33] sieht in dem Computer-unterstützten Lernen eine Möglichkeit, allen Menschen adäquate Aus- und Weiterbildung anzubieten und so einen Beitrag zur Beseitigung der Armut in der Welt zu leisten. Der Computer muß dabei die Rolle des menschlichen Tutors übernehmen, da es unmöglich ist, den Bedarf allein durch menschliche Tutoren zu befriedigen. Wie dies in der Praxis aussehen wird ist noch unklar. Nach Bork sind die heutigen Computer nicht die geeignete Wahl hierfür, seiner Meinung nach bedarf es hierzu einfacher und billiger Endgeräte, die auch für jedermann intuitiv zu bedienen sind. Der Computer hat sich zwar von einem Werkzeug für Spezialisten hin zu einem normalen Alltagsgegenstand für jedermann entwickelt, aber Computer im Schulzimmer oder Hörsaal sind doch eher noch Ausnahme als Regel. Allerdings gibt es im Bereich der Endgeräte interessante Entwicklungen hin zu Geräten, die sich mehr an den Anforderungen eines Benutzers orientieren. Die Entwicklung auf dem Gebiet Mobiltelefone und PDAs ist rasant und führt zu immer leistungsfähigeren und billigeren Geräten. Ein Trend, der hierbei von besonderem Interesse für das Lernen ist, geht in Richtung Zusammenwachsen der einzelnen Funktionen in einem einzigen Gerät. Es ist durchaus vorstellbar, daß sich diese Geräte zu den Lernendgeräten der Zukunft entwickeln könnten. Mit dem Internet und solch neuartigen Endgeräten steht ein ganz neues Medium für die Realisierung des Lernens zur Verfügung, mit dem sich auch neue Formen des orts- und zeitunabhängigen Lernens realisieren lassen. Allerdings steht diese Entwicklung noch am Anfang, und es sind noch längst nicht alle Möglichkeiten entdeckt oder erkannt worden, die dieses Medium bietet. In [34] kritisiert Fischer daher auch zu Recht, daß oft nur die althergebrachten Methoden und Vorgehensweisen auf das WWW übertragen werden

und nicht versucht wird, neue Wege zu beschreiten, die diesen Möglichkeiten und auch den geänderten Anforderungen an das Lernen besser gerecht werden.

In der Tat dürfte es auch die größte und interessanteste Herausforderung für die Zukunft sein, neue Lernformen zu finden und für den praktischen Einsatz verfügbar zu machen, die den Möglichkeiten und Bedürfnissen des Mediums Computer gerecht werden. Dazu bedarf es zweifelslos noch beträchtlicher Anstrengungen in Forschung und Entwicklung, um die notwendigen technischen Grundlagen zu schaffen. Diese technologischen Entwicklungen sind jedoch nur der Grundstock. Darauf aufbauend bedarf es auch großer Anstrengungen in den Bereichen, die sich mit der Umsetzung dieser technischen Möglichkeiten in die Praxis befassen. Die wichtigste Frage ist dabei zweifelslos, mit welchen Lernformen sich die Möglichkeiten dieses neuen Mediums am besten für das Lernen erschließen und wie sich die gestiegenen Anforderungen nach Weiterbildung und bedarfsorientiertem Lernen befriedigen lassen. Für diese Fragestellung sind die technischen Möglichkeiten zwar wichtig, aber von genauso großer, wenn nicht sogar von größerer Bedeutung sind hierfür pädagogische und didaktische Aspekte und Erkenntnisse. Somit ergibt sich auch hier ein großes Betätigungsfeld. Nicht zu vergessen sind auch die organisatorischen und rechtlichen Aspekte von solch neuartigen Lernformen. Das Aufkommen von neuartigen Lernformen erfordert auch in diesem Bereich Weiterentwicklungen, etwa was die Frage von Zertifikaten angeht. Technisch gesehen ist es kein Problem, daß ein Student eine Vorlesung an der einen Universität belegt und eine andere an einer anderen; aber welche Auswirkungen hat dies auf seinen Abschluß und wer stellt ihn aus? Dieses Problem existiert bereits jetzt im traditionellen Lernen, aber bei der Ortsunabhängigkeit erreicht dieses Problem ganz neue Dimensionen. Es stellt sich auch die Frage, wie diese neuen Lernformen die Rolle der traditionellen Träger der Ausbildung verändern werden.

Die folgende Tabelle zeigt für alle zulässigen Werte von Mediatype wie ein zugehöriges MTS-Tag auszusehen hat und auf welchen HTML-Code dieses MTS-Tag vom Konverter abgebildet wird.

Mediatype		
GRAPHIC	Beschreibung	Direkte Referenz auf ein Bild
	Beispiel	... <MTS> dref="LTC-TUD/math/plot.gif" mediatype="GRAPHIC name="WIDTH" value="130" name="HEIGHT" value="200" </MTS> ...
	Ergebnis
AUDIO	Beschreibung	Direkte Referenz auf Audiomaterial
	Beispiel	... <MTS> dref="LTC-TUD/sounds/clock.au" mediatype="AUDIO"</MTS> ...
	Ergebnis
VIDEO	Beschreibung	Direkte Referenz auf Videomaterial
	Beispiel	... <MTS> dref="LTC-TUD/video/movie.avi" mediatype="VIDEO"</MTS> ...
	Ergebnis
TEXT	Beschreibung	Direkte Referenz auf Text ^a .
	Beispiel	... <MTS> dref="LTC-TUD/math/DefCircle.txt" mediatype="TEXT" </MTS> ...
	Ergebnis	... Unter einem Kreis mit Radius r um den Punkt P versteht man die Menge aller Punkte deren Entfernung zu Punkt P genau r ist. ...
APPLET	Beschreibung	Direkte Referenz auf Lernmaterial, das als Java applet realisiert ist.
	Beispiel	... <MTS> dref="LTC-TUD/Hello.class" mediatype="APPLET" name="WIDTH" value="60" name="HEIGHT" value="60" </MTS> ...
	Ergebnis	... <APPLET CODEBASE="http://ltc.tu-darmstadt.de/tmp23/Hello.class" WIDTH=60 HEIGHT=60> ...
HTML	Beschreibung	Direkte Referenz auf Lernmaterial, das als reines HTML in der Datenbank abgelegt ist und daher beim Lesen aus der Datenbank nicht konvertiert werden muß.
	Beispiel	... <MTS> dref="LTC-THD/math/p17.html" mediatype="HTML" NAME="Target" VALUE="_blank" </MTS> ...
	Ergebnis
HTMLI	Beschreibung	Direkte Referenz auf Lernmaterial, das als HTML-I in der Datenbank abgelegt ist und das daher beim Lesen aus der Datenbank nach HTML konvertiert werden muß.
	Beispiel	... <MTS> dref="LTC-TUD/math/p24.html" mediatype="HTMLI" name="Target" value="sub2" </MTS> ...
	Ergebnis

Tabelle 25. MTS-Tags für die unterschiedlichen Arten von Lernmaterial

Mediatype		
DIRECT	Beschreibung	Universelles Tag, für generische HREF.
	Beispiel	... <IMG SRC="<MTS> dref="LTC-TUD/math/pict25.jpg" mediatype="DIRECT" </MTS>" WIDTH=130 HEIGHT=200> ...
	Ergebnis

Tabelle 25. MTS-Tags für die unterschiedlichen Arten von Lernmaterial

- a. Weil in diesem Fall das MTS-Tag bei der Konvertierung Text ersetzt wird, darf dieser auch HTML-Tags zur Formatierung enthalten wie z.B. , oder auch .

Während die anderen Varianten noch versuchen, den HTML Konventionen zu genügen, verstößt das DIRECT MTS-Tag auf eklatante Art und Weise gegen diese Konventionen, da es an Stellen erscheint, wo der Wert eines HTML-Attributes erwartet wird. Der Mediatype DIRECT war ursprünglich gedacht als letzte Rettung, wenn keiner der anderen Mediatypes verwendet werden konnte. Dafür wurde auch in Kauf genommen, daß es gegen die Konventionen verstößt. Mittlerweile wird, wegen seiner universellen Einsetzbarkeit, fast ausschließlich nur noch die Variante mit Mediatype DIRECT eingesetzt.

B.1 Course Node Selbstbeschreibung als LOM

Die folgende Tabelle zeigt, wie sich die Elemente aus der Selbstbeschreibung eines Course Nodes auf LOM Elemente abbilden lassen:

MTS		LOM			
Attribute			Nr	Name	Kategorie
Comment	1	=	1.5	Description	General
Identification_as_an_CN	1	=	1.9	Aggregation Level	General
Life_Cycle_State	1	=	2.2	Status	LifeCycle
Date_of_Release	1	+	2.2	Status	LifeCycle
Globally_Unique_Service_Provider_ID:Author_Name_at_this_SP	1	=	2.3 .1	Role	LifeCycle
		=	2.3 .2	Entity	LifeCycle
Date_of_Last_Update	1	=	2.3 .3	Date	LifeCycle
Globally_Unique_Metadata_Identifier	1	=	3.1	Identifier	Meta-metadata
Physical_Reference_to_CN_Data_Object	1	=	4.3	Location	Technical
Aspect (view to subject)	1	+	5.2	Learning Resource Type	Educational
Mental_Complexity_Level	1	=	5.8	Difficulty	Educational
Used_Language	1	=	5.1 1	Language	Educational
Manipulation_Difficulty_Level	1	-	--	---	Educational
Access_Lock	*	+	6.2	Copyright and Other Restrictions	Rights
Disciplin	1	=	9.2 .2	Taxon ^a	Classification
Subject_in_Disciplin	1	=	9.2 .2	Taxon ^b	Classification
Keyword_in_Disciplin	*	=	1.6	Keywords	General

Tabelle 26. Umsetzung Course Node Selbstbeschreibung auf LOM

a. Disciplin entspricht Wurzel im Taxonpfad. In MTS haben alle Taxonpfad die Länge 2.

b. Subject_in_Disciplin entspricht Blatt im Taxonpfad. In MTS haben alle Taxonpfad die Länge 2.

B.2 Function Unit Selbstbeschreibung als LOM

Die folgende Tabelle zeigt, wie sich die Elemente aus der Selbstbeschreibung einer Function Unit auf LOM Elemente abbilden lassen:

MTS Attribute	LOM				
			Nr	Name	Kategorie
Comment	1	=	1.5	Description	General
Identification_as_an_LFU	1	=	1.9	Aggregation Level	General
Life_Cycle_State	1	=	2.2	Status	LifeCycle
Date_of_Release	1	+	2.2	Status	LifeCycle
Globally_Unique_Service_Provider_ID:Author_Name_at_this_SP	1	=	2.3.1	Role	LifeCycle
		=	2.3.2	Entity	LifeCycle
Date_of_Last_Update	1	=	2.3.3	Date	LifeCycle
Globally_Unique_Metadata_Identifier	1	=	3.1	Identifier	Meta-metadata
Physical_Reference_to_LFU_Data_Object	1	=	4.3	Location	Technical
Function	1	=	5.2	Learning Resource Type	Educational
Aspect (view to subject)	1	+	5.2	Learning Resource Type	Educational
Mental_Complexity_Level	1	=	5.8	Difficulty	Educational
Used_Language	1	=	5.1.1	Language	Educational
Manipulation_Difficulty_Level	1	-	--	---	Educational
Access_Lock	*	+	6.2	Copyright and Other Restrictions	Rights
Disciplin	1	=	9.2.2	Taxon ^a	Classification
Subject_in_Disciplin	1	=	9.2.2	Taxon ^b	Classification
Keyword_in_Disciplin	*	=	1.6	Keywords	General

Tabelle 27. Umsetzung Function Unit Selbstbeschreibung auf LOM

a. Disciplin entspricht Wurzel im Taxonpfad. In MTS haben alle Taxonpfad die Länge 2.

b. Subject_in_Disciplin entspricht Blatt im Taxonpfad. In MTS haben alle Taxonpfad die Länge 2.

WWW Grundlagen

- [1] Homepage für den Netscape WWW-Browser: <http://www.netscape.com>
- [2] Internet Explorer. Homepage <http://www.microsoft.com/ie>
- [3] HotJava, Homepage <http://www.javasoft.com/products/hotjava>
- [4] RFC 791: IP - Internet Protocol, September 1981, im WWW verfügbar unter: <http://www.ietf.org>
- [5] RFC 793: TCP - Transmission Control Protocol, September 1981, im WWW verfügbar unter: <http://www.ietf.org/>
- [6] Berners-Lee, T.; Cailliau, R.; Groff, J.-F., Pollermann, B.: „World Wide Web: The information universe.“ Electronic Networking: Research, Applications and Policy 2, 1 (1992), 45–51.
- [7] Berners-Lee, T.; Cailliau, R.; Groff, J.-F., Pollermann, B.: „World-Wide Web: An information infrastructure for high-energy physics“. Proceedings of the Workshop on Software Engineering, Artificial Intelligence and Expert Systems for High Energy and Nuclear Physics (Januar 1992).
- [8] Berners-Lee, T.; Fielding, R.; Masinter, L.: „RFC 2396: Uniform Resource Identifiers (URI): Generic syntax“, August 1998. Status: Draft Standard.
- [9] Berners-Lee, T.; Masinter, L.; McCall, M.: „RFC 1738: Uniform resource locators (URL)“, Dec. 1994. Updated by RFC1808, RFC2368
- [10] Berners-Lee, T.: RFC 1630: „Universal Resource Identifiers in WWW: A unifying syntax for the expression of names and addresses of objects on the network as used in the World-Wide Web, Juni 1994.
- [11] Fielding, R. et al., „HTTP Standard, RFC 2068: Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1“, Januar 1997; im WWW verfügbar unter: <http://www.w3.org>
- [12] The Unicode Consortium, „The Unicode Standard Version 3.0“, Longman Higher Education, ISBN 0-201-61633-5, 2000, im WWW verfügbar unter: <http://www.unicode.org>
- [13] Guelich, Scott; Gundavaram, Shishir; Birnie, Gunther: „CGI Programming with Perl, 2nd Edition“, O'Reilly, 2nd Edition, ISBN 1-56592-419-3, Juli 2000
- [14] Netscape, Plugins Dokumentation, im WWW verfügbar unter: <http://developer.netscape.com/docs/manuals/communicator/plugin/index.htm>
- [15] Wall, Larry; Christiansen, Tom; Orwant, Jon: „Programming Perl, 3rd Edition“, 3rd Edition Juli 2000. O'Reilly, ISBN 0-596-00027-8
- [16] Freed, N., Borenstein, N.: „RFC 2045: MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) part one: Format of Internet Message Bodies“, November 1996, Status DRAFT STANDARD
- [17] Freed, N., Borenstein, N.: „RFC 2046: Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) part two: Media types“, November 1996. Obsoletes RFC1521, Status DRAFT STANDARD
- [18] Homepage des World Wide Web Consortiums: <http://www.w3.org>
- [19] Mitchell, John C., et al.: „Finite State Analysis of SSL 3.0 and Related Protocols“, August 1997
- [20] Freier, Alan O. et al.: „The SSL Protocol Version 3.0“, Netscape Communications Corporation, März 1996
- [21] „SSL 3.0 Errata“, Netscape Communications Corporation, August 1996
- [22] „BM red paper on SET: Appendix C. Secure Sockets Layer“, 1997
- [23] Dierks, T.; Allen, C.: „RFC 2246: The TLS Protocol, Version 1.0“, Januar 1999

Java, JavaScript,

- [24] Arnold, Ken; Gosling, James; Holmes, David: „The Java™ Programming Language, Third Edition“, Addison-Wesley Publishing Company; ISBN: 0-201-70433-1, Juni 2000

- [25] Campione, Mary; Walrath, Kathy: "The Java™ Tutorial Second Edition: Object-Oriented Programming for the Internet (Java Series)", Addison-Wesley Pub Co; ISBN 0201310074, Onlineversion verfügbar unter der URL <http://www.javasoft.com/docs/books/tutorial>.
- [26] Online documentation zu Remote Method Invocation (RMI) im WWW verfügbar unter: <http://www.javasoft.com/products/jdk/1.2/docs/guide/rmi>.
- [27] JavaScript Reference online verfügbar unter <http://developer.netscape.com/docs/manuals/js/client/jsref/index.htm>

Lernformen

- [28] van Dam, A. ; Brown, M; Meyrowitz, N. : „Personal Computer Networks and Graphical Animations: Rationale and Practise for Education“, ACM SIGCSE 14th Annual Technical Symposium on Computer Science Education, 1983
- [29] van Dam, Andries : „Hypertext '87 Keynote Address“, Communications of the ACM, Juli 1988
- [30] Raisinghani, Mahesh; Syed, Mahbubur Rahman; „New Educational Paradigms in Distance Education“, Proceedings of International Symposium on Intelligent Multimedia and Distance Education (ISIMADE'99), Baden-Baden, 2-7 August 1999, Seite 168ff, ISBN 0-921836-82-1
- [31] Bork, Alfred: „The Future of Learning: An Interview with Alfred Bork“, EduCom Review, Volume 34, Number 4, 1999
- [32] Bork, Alfred: „Learning Technology“, EDUCAUSE Review, Januar/Februar 2000
- [33] Bork, Alfred: „Highly Interactive Distance Learning for the Future“, Proceedings of 7th International Conference on Computers in Education (ICCE'99), Chiba, Japan, 4-7 November 1999
- [34] Fischer, Gerhard: „Möglichkeiten und Grenzen Moderner Technologien zur Unterstützung des Selbstgesteuerten und Lebenslangen Lernens.“, in „Weiterbildungsinstitutionen, Medien, Lernumwelten“, Studie des bmb+f, 1999.
- [35] Nahrstedt, Wolfgang; Brinkmann, Dieter; Stehr, Ilona: „Moderne Lernformen und Lerntechniken in der Erwachsenenbildung. Kritische Einschätzung bestehender Ansätze und Empfehlungen“, IFKA Dokumentation (Institut für Freizeitwissenschaft und Kulturarbeit e.V.), Bielefeld, 1995
- [36] Bullinger, H. J.; Encarnação, J. L. : „Lernen und Wissen - Erfolgsfaktoren der Zukunft“, FhG-Jahresbericht 99, 2000
- [37] Anderson, Cushing; Dankens Anne-Sophie; Julian Ellen H., „Worldwide and U.S. Corporate IT Education and Training Services: Forecast and Analysis, 1999-2004“, IDC Report #W22154, Mai 2000

Lernmaterial und Metadaten

- [38] Homepage der Dublin Core Metadata Initiative: <http://dublincore.org>
- [39] Aviation Industry CBT Committee, „CMI Guidelines for Interoperability“, Version 3.5, April 2001, verfügbar unter <http://www.aicc.org>
- [40] Aviation Industry CBT Committee, „AGR 007 Course Interchange“, Version 1.0, August 1995, verfügbar unter <http://www.aicc.org>
- [41] Aviation Industry CBT Committee, „Guidelines for BBT Courseware Interchange“, Document No. CRS004, Version 1.0, Oktober 1995, verfügbar unter <http://www.aicc.org>
- [42] Homepage der ARIADNE Foundation: <http://www.ariadne-eu.org>
- [43] Ostyn, Claude: „Interoperable Adaptive Content Framework“, White Paper, Draft vom 30 Mai 2001, verfügbar auf WWW-Server der Firma Click2Learn: <http://www.click2learn.com>
- [44] Schilling, K.; Roth, H.: "Virtual Laboratories to Perform Experiments with Remote Equipment", Proceedings of EAEEIE 99, Capri, Italien, 17-20 Mai 1999
- [45] Manninen, T.; Niemi, E.; Paaso, J.: "Integrated and Remotely Accessible Laboratory Environment for Embedded System Engineering Education", Proceedings of EAEEIE 99, Capri, Italy, May 17-20, 1999
- [46] Greer, J.: "Computer Support for Peer-Help-Networks", Proceedings of ICCE 99, Chiba, Japan, 4-7 November 1999

- [47] W3C Consortium: „HTML Specification“, W3C Recommendation, im WWW verfügbar unter: <http://www.w3.org/TR/html>
- [48] W3C Consortium: „XML Standard“, im WWW verfügbar unter: <http://www.w3.org/XML>
- [49] ISO-Standard ISO/IEC13250:1999(E): „Topic Navigation Maps“, 21 September 1998
- [50] W3C Consortium: „Scalable Vector Graphics (SVG) Specification“, W3C Recommendation, im WWW verfügbar unter: <http://www.w3.org/TR/SVG>
- [51] IMS Global Learning Consortium, Inc., „IMS Content Packaging Information Model“, Version 1.1.2 Final Specification, im WWW verfügbar unter: <http://imsproject.org>
- [52] IMS Global Learning Consortium, Inc., „IMS Content Packaging XML Binding“, Version 1.1.2 Final Specification, im WWW verfügbar unter: <http://imsproject.org>
- [53] IMS Global Learning Consortium, Inc., „IMS Content Packaging Best Practice Guide“, Version 1.1.2 Final Specification, im WWW verfügbar unter: <http://imsproject.org>
- [54] IMS Global Learning Consortium, Inc., „IMS Learning Resource Meta-Data Information Model“, Version 1.2.1 Final Specification, im WWW verfügbar unter: <http://imsproject.org>
- [55] IMS Global Learning Consortium, Inc., „IMS Learning Resource Meta-Data XML Binding“, Version 1.2.1 Final Specification, im WWW verfügbar unter: <http://imsproject.org>
- [56] IMS Global Learning Consortium, Inc., „IMS Learning Resource Meta-Data Best Practice and Implementation Guide“, Version 1.2.1 Final Specification, im WWW verfügbar unter: <http://imsproject.org>
- [57] Advanced Distributed Learning Initiative, „Sharable Content Object Reference Model (SCORM)“, Version 1.2, The SCORM Overview, Oktober 2001, im WWW verfügbar unter: <http://imsproject.org>
- [58] Advanced Distributed Learning Initiative, „Sharable Content Object Reference Model (SCORM)“, Version 1.2, The SCORM Content Aggregation Model, Oktober 2001, im WWW verfügbar unter: <http://imsproject.org>
- [59] Advanced Distributed Learning Initiative, „Sharable Content Object Reference Model (SCORM)“, Version 1.2, The SCORM Runtime Environment, Oktober 2001, im WWW verfügbar unter: <http://imsproject.org>
- [60] W3C Consortium: „WebCGM Profile“, W3C Recommendation, im WWW verfügbar unter: <http://www.w3.org/TR/REC-WebCGM>
- [61] W3C Consortium: „MathML Mathematical Markup Language (MathML) Version 2.0“, W3C Recommendation, im WWW verfügbar unter: <http://www.w3.org/TR/MathML2>
- [62] Homepage des Educational Markup Language Projektes an der Open University of the Netherlands, im WWW verfügbar <http://eml.ou.nl>

Lernumgebungen

- [63] Encarnacao, J.L., et al.: „A concept and system architecture for IT-based-life-long learning, in Computer & Graphics, Vol 22, No 2-3, Seite 319-393, Elsevier Science Ltd
- [64] Buhrmann, P.; Mittrach, S.; Schlageter, G.: „The FernUniversity as a Virtual University – Concepts, Experiences, Developments“, Proceedings of Online-EDUCA, Berlin, November 1996
- [65] Collins, Betty: „Design, Development and Implementation of a WWW-Based Course-Support System“, Proceedings of 7th International Conference on Computers in Education (ICCE'99), Chiba, Japan, 4-7 November 1999
- [66] Homepage für MS LRN: www.microsoft.com/elearn.
- [67] Homepage der Global Learning Plattform der Deutschen Telekom: <http://www.global-learning.de>)
- [68] Robert, M.; Conrard, B.; Gend, P.: „Teaching of electrical and information engineering with the help of internet: the INEIT-MUCON SOCRATES project“, Proceedings of EAEEIE 99, Capri, Italien, 17-20 Mai 1999

- [69] Repenning, A. : „Programming Substates to Create Interactive Learning Environments“, Journal of Interactive Learning Environments, Special Issue on End-User Environments, 4(1), Seite 45-74, 1994
- [70] Dietinger, Thomas; Maurer, Hermann: „GENTLE - (GEneral Networked Training and Learning Environment)“, Proceedings of 10th World Conference on Educational Multimedia and Hypermedia (EDMEDIA'98), Freiburg, 20-25 Juni 1998, ISBN 1-880094-30-4

DEDICATED

- [71] Lopes, A. ; Teixeira, J.; Campos, C.; Chevaleyre, C. ; Levis, P.; Mengel, M.; Ioannidis, N.; Amanta, V.: „Final Report on MTS Usage in Each LTC and on Interchangeability of Courses between LTCs“, Deliverable 20 des Projektes DEDICATED, Dezember 1994.
- [72] Lindner, R.; Knierriem-Jasnoch, A.; Graf, F.: „DEDICATED Development of an new Dimension in European Computer Aided Teaching and Education“, GRIS-Jahresbericht, TU Darmstadt, 1992
- [73] Graf, F.: „Das Modulare Trainingssystem - Die Vision und die Realisierung im Rahmen des EU-Projektes DEDICATED, GRIS-Arbeitsbericht, TU Darmstadt, 1995
- [74] Tritsch, B.: „Die Tele-Media-Trainingsarchitektur“, Dissertation an der TU Darmstadt, 1997, Springer Verlag
- [75] Lindner, R. : „Course Description Language Reference Manual, Version 4.0“, 30 September 1994

IDEALS

- [76] Frank Graf, Michael Schnaider, „IDEALS MTS - A Modular Training System for the Future“, Prococeedings ED-Media 98, Freiburg, Deutschland, 20-25 Juni 1998, pp 486-492
- [77] Lindner, Rolf; et al.: „Deliverable D8.1 Description of the Courseware Sub-domain for Computer Graphics Fundamentals including Courseware Style Guide and the User Guide for Courseware Design“, Öffentliches Deliverable des EU-Projekt IDEALS (ET1012) 1997, im WWW verfügbar unter: http://www.igd.fhg.de/~lindner/D-8-1/Deliverable_8-1.html
- [78] Schnaider, Michael; Paaso, Jouko; Teixeira, Jose; et al.: „Deliverable D8.3 User Guide for Courseware Design and Course Configuration for Institutes for Higher Education“, 1998, Öffentliches Deliverable des EU-Projekt IDEALS (ET1012) 1998, <http://www.igd.fhg.de/~schnaide/Ideals/D8.3>
- [79] Lippert, Detlef: „Deliverable D9-1 Description of the SME Courseware Sub-domain including Courseware Style Guide Guide and the User Guide for Courseware Production“, Öffentliches Deliverable des EU-Projekt IDEALS (ET1012) 1997
- [80] Paaso, J.: „Computer Based Teaching Technology for Software Engineering Education“, Dissertation an der Univerisität Oulu, Faculty of Technology, August 1998
- [81] Schnaider, M.: „Internet-based Learning & Training as a Challenge for Universities – What we learned from IDEALS“, Proceedings des Workshops „Multimedia Computer Techniques in Engineering Education“, Februar 1999

Lernerfolgskontrolle

- [82] Hausding, M.: „Ein offenes Framework für Lernkontrolle in WWW-basiertem Training“, Diplomarbeit an der TU Darmstadt, Darmstadt, November 1998.
- [83] Graf, F.; Hausding, M.: „An Open Framework for Monitoring Learning Success in WWW-based Training“, Proceedings of EAEEIE 99, Capri, Italien, 17-20 Mai 1999
- [84] Graf, F.; Schnaider, M.: „Using Patterns to Create Tests for Web-Based Training“, Proccedings of 11th International Conference on System Research, Informatics and Cybernetics“, Baden-Baden, Deutschland, 2-7 August 1999

Weiterführende Arbeiten

- [85] Schnaider, M.: „Lernerprofilierung - Wissen was der Lerner weiss“, Proceedings of 9th Workshop der GI-Fachgruppe 1.1.5/7.0.1 "Intelligente Lehr-/Lernsysteme" bei den GI Workshop Tagen "Lernen, Wissensentdeckung und Adaptivität" (LWA99), Magdeburg, September 1999

- [86] Knierriem-Jasnoch, Anette: „Eine Systematik zur Klassifizierung IT-gestützter Ausbildungsumgebungen und ein objektorientiertes Kursmodell für flexibles Lernen“, Dissertation an der TU Darmstadt, Fraunhofer IRB Verlag, April 2001
- [87] Mengel, M.: „Konzepte einer benutzerangepassten graphischen Autorenunterstützung für Aus- und Weiterbildung basierend auf einem modularen Kurskonzept“, Dissertation an der TU Darmstadt, 1999, GCA Verlag, ISBN3-934389-56-2
- [88] Mengel M., „IDEALS, Modular courseware and a task-oriented authoring for on demand learning and training used in SMEs“, Abstracts of Online Educa 1988, Berlin, 1998
- [89] Lilley, C.C., Lin, F., Hewitt, W.T., Howard T.L.J., „The design and development of distance learning materials for graphics and visualisation“, Computers & Graphics, Vol 18, No 3, Elsevier Ltd, 1994
- [90] Hornung, Ch.; Encarnação, L. M. Robert; Barton, J.: „PLATINUM - Worldwide Distributed Courseware Production, Learning and Training using MTS“. Webnet 98.
- [91] Hornung, Ch.: „PLATINUM - A Framework for I*net-based Learning and Training“, 1998. Euroconference '98 on New Technologies for Higher Education, Aveiro, Portugal.

Sicherheit

- [92] Buchmann, Johannes: „Einführung in die Kryptographie“, 2 Auflage, Springer-Verlag, ISBN 3-540-41283-2, 2001
- [93] Eckert, Claudia, „IT- Sicherheit. Konzepte, Verfahren, Protokolle“, Oldenbourg, ISBN 3-486-25298-4, 2001
- [94] Müller, Günter, Rannenber, Kai: „Multilateral Security in Communications“, Addison-Wesley, ISBN 3-8273-1360-0, 2000
- [95] Schneier, Bruce: „Angewandte Kryptographie“, Protokolle, Algorithmen und Sourcecode in C, 1. Auflage 1996, Addison-Wesley, ISBN 3-89319-854-7, 1996
- [96] Kahn, David: „The Codebreakers“, 2. Auflage 1996, Scribner 1996
- [97] Diffie, W.; Hellmann, M. E.: „New directions in cryptography.“ IEEE Transactions on Information Theory, Volume IT-22, Nummer 6, November 1976, Seite 644–654.
- [98] Kerckhoff, Auguste: „La Cryptographie militaire“, 1883
- [99] Feistel, Horst : „Block cipher cryptographic system“, U.S. Patent No. 3798359", 1974
- [100] United States. National Bureau of Standards: „Data Encryption Standard“, Federal Information Processing Standards publication, Volume 46, Gaithersburg, MD, USA, Oktober 1977
- [101] National Institute for Standards and Technology (U. S.) : „Secure Hash Standard (SHA)“, Federal information processing standards publication, FIPS 180, Gaithersburg, MD, Mai 1993
- [102] National Institute for Standards and Technology (U. S.) : „Data Encryption Standard (DES)“, Federal information processing standards publication 46-2, Shipping list no.: 94-0171-P, Gaithersburg, MD, Dezember 1993
- [103] National Institute for Standards and Technology (U. S.) : „Secure Hash Standard (SHA)“, Federal information processing standards publication, FIPS 180-1, Gaithersburg, MD, April 1995
- [104] National Institute for Standards and Technology (U. S.) : „Data Encryption Standard (DES)“, Federal information processing standards publication 46-3, Shipping list no.: 94-0171-P, Gaithersburg, MD, Oktober 1999
- [105] Electronic Frontier Foundation: „Cracking DES: Secrets of Encryption Research, Wiretap Politics & Chip Design.“ O'Reilly & Associates, ISBN 1-56592-520-3, Juli 1998
- [106] Van Oorschot, P. C., Wiener, M. J. : „A known-plaintext attack on two-key triple encryption“, Advances in cryptology - EUROCRYPT '90: Workshop on the Theory and Application of Cryptographic Techniques, Aarhus, Dänemark, 21-24 Mai 1990, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 473, pp. 318–325, Springer-Verlag, 1991
- [107] Anonym, „Announcing request for candidate algorithm nominations for the Advanced Encryption Standard (AES)“. Federal Register (US), Volume 62 Nummer 177, Seite 48051–48058, September 1997

- [108] Rivest, R. L.; Shamir, A.; Adelman, L.: „A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems“, Communications of the ACM, Volume 21 Nummer 2, Seite 120-126, Februar 1978
- [109] RSA algorithm U.S. Patent # 4,405,829, "Cryptographic Communications System And Method", gewährt an Massachusetts Institute of Technology (MIT) am 20 September 1983, ausgelaufen am 20 September 2000
- [110] Preneel, B.: „Design Principles for Dedicated Hash Functions“, Lecture Notes in Computer Science, Volume 809, Seite 71-82, Mai 1996
- [111] Rivest, R. : „RFC 1321 The MD5 Message-Digest Algorithm“, im WWW verfügbar unter: <http://www.ietf.org>
- [112] Dobbertin, Hans : „The Status of MD5 After a Recent Attack“, CryptoBytes Journal, Volume 2 Nummer 2, November 1996
- [113] Power, Richard: „2001 CSI/FBI Computer Crime and Security Survey“, Computer Security Issues & Trends, Volume 7 Nummer 1, 2001
- [114] Menezes, Alfred; van Oorschot, Paul; Vanstone, Scott A.: „Handbook of Applied Cryptography“, CRC Press, ISBN: 0849385237, Oktober 1996
- [115] Goldreich, Oded: „Foundations of Cryptography“, Februar 1995, verfügbar im WWW: <http://theory.lcs.mit.edu/~oded/frag.html>
- [116] Busch, Christoph; Graf, Frank; Wolthusen, Stephen, Zeidler, Armin: „A System for Intellectual Property Protection“, Proceedings of SCI'2000/ISAS'2000, Orlando, USA, Juli 2000
- [117] Graf, F.; Busch, C., Wolthusen, S.: „Courseware needs Security“, Proceedings of ICCE'99 „Advanced Research in Computers and Communication in Education“, Chiba, Japan 1999
- [118] Homepage EU-Projekt Talisman: <http://www.igd.fhg.de/igd-a8/projects/talisman>
- [119] Lia, X., Massey, James L.: „A Proposal for a New Block Encryption Standard“, Advances in cryptology - EUROCRYPT '90: Workshop on the Theory and Application of Cryptographic Techniques, Aarhus, Dänemark, 21 -24 Mai 1990, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 473, pp. 55-70, Springer-Verlag, 1991.
- [120] Katzenbeisser, Stefan; Petitcolas, Fabien A. P. : „Information Hiding techniques for steganography and digital watermarking“, ISBN 1-58053-035-4, Artech House
- [121] Koch, Eckhard; Zhao, Jian : „A digital watermarking system for multimedia copyright protection.“ Proceedings of the Fourth ACM International Multimedia Conference, 18-22 November 1996, Boston, United States, pp. 443-444.
- [122] Homepage des EU-Projekts Syscop (System for Copyright Protection): <http://syscop.igd.fhg.de/>
- [123] Stephen Wolthusen, "Entwurf und Durchführung einer Evaluierung von Firewall-Systemen", Diplomarbeit an der TU Darmstadt, Fachbereich Informatik, Darmstadt, November 1999
- [124] Busch, C.; Funk, W.; Wolthusen, S.: „Digital Watermarking: From Concepts to Real-Time Video Applications.“, IEEE Computer Graphics and Applications, Special Issue on Image Security, Januar/Februar 1999, Seite 25–35.
- [125] Benedens, O., Busch, C. : „Towards Blind Detection of Robust Watermarks in Polygonal Models“, Proceedings Eurographics 2000, Interlaken, Schweiz, August 2000
- [126] Praun, E.; Hoppe, H.; Finkelstein, A.: „Robust Mesh Watermarking“, Proceedings SIGGRAPH 99, 1999
- [127] Busch, C.; Wolthusen, S.: „Tracing Data Diffusion in Industrial Research with Robust Watermarking“, Proceedings of 2001 Fourth Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP 2001), IEEE press, Cannes, Frankreich, Seite 207-212, Oktober 2001
- [128] Busch, C. ; Arnold, M.; Funk, W.: „Schutz von Urheberrechten durch digitale Wasserzeichen“, aus „Geistiges Eigentum und Copyright im multimedialen Zeitalter. Positionen, Probleme, Perspektiven“, Volume 13 Seite 70-84, Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen, 1999, ISSN 1435-487 X
- [129] Daum Henning, „Studie BIOIS, Vergleichende Untersuchung biometrischer Identifikationssysteme, Technische Untersuchung, Offener Abschlußbericht“, 15 Mai 2000, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI).

- [130] Sietmann, Richard, „Geheimniskrämerei - Halten biometrische Erkennungssysteme, was sie versprechen?“, c't, Heft 7 Jahrgang 2000, Seite 106ff.
- [131] Lockie, Mark; „BioIS cracks 50% of biometric systems“, biometric technology today, Volume 7 Number 8, Dezember 1999/Januar 2000, ISSN 0965-2590, Elsevier Science LTD., Seite 2
- [132] Zimmerman, Philip: „The Official PGP User's Guide“, Technical Report, The MIT Press, 1994.
- [133] S/MIME Mail Security Charter, Internet-Drafts und RFCs, im WWW verfügbar unter:
<http://www.ietf.org/html.charters/smime-charter.html>

Sonstiges

- [134] Stroustrup, Bjarne : „The C++ Programming Language, Special Edition“, Longman Higher Education; ISBN: 0-201-70073-5, 2000
- [135] Bracha, Gilad ; Gosling, James; Joy, Bill, Steele, Guy : „The Java Language Specification, Second Edition“, Addison-Wesley Publishing Company ; ISBN: 0-201-31008-2, 2000, Online verfügbar unter:
http://java.sun.com/docs/books/jls/second_edition/html/j.title.doc.html
- [136] Blanchet, R.; Lambrecht, R.; Haun, A.; Stenzel, J.: „Case Study of a French/German Double-Diploma in Electrical Engineering: A Ten Year Old Success Story“, Proceedings of EAEEIE 99, Capri, Italien, 17-20 Mai 1999, Seite 277ff
- [137] Knuth, Donald : „The TeXbook“, Addison Wesley Publishing Company; ISBN: 0201134489, April 1984

Liste der Abkürzungen

In dieser Arbeit werden die folgenden Abkürzungen und Synonyme verwendet:

AICC: Aviation Industry CBT Committee
ARIADNE: Alliance of Remote Instructional Authoring & Distribution Networks for Europe
ASCII: American Standard Code for Information Interchange
B2B: Business to Business
CAL: Computer assisted Learning
CBT: Computer Based Training
CDL: Course Description Language
CGI: Common Gateway Interface
CMI: Computer-Managed Instruction
GIF: Graphical Interchange Format
GLSL: Generic Learning Support Layer
GRIS: Graphisch Interaktive Systeme
HTTP: Hypertext Transfer Protocol
IEC: International Electrotechnical Commission
IMS: Instructional Management Systems Global Learning Consortium
ISO: International Organization for Standardization
JPEG: Joint Photographic Experts Group (ISO/IEC JTC1 SC29 Working Group 1)
LFU: Learning Function Unit
LTC: Local Training Center
MO: Material Object
MTS: Modulares Trainingssystem
PIN: Personal Identification Number
PKI: Public Key Infrastructure
URL: Uniform Resource Locator
WWW: World Wide Web

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Weitergabe von Wissen im traditionellen Lernen	6
Abbildung 2. Der Lernzyklus	7
Abbildung 3. Wirksamkeit der unterschiedlichen Wahrnehmungskanäle nach Nahrstedt	9
Abbildung 4. Der Lernzyklus bei Verwendung eines computer-basierten Lernsystems	10
Abbildung 5. Autorenkategorien und Werkzeuge	12
Abbildung 6. WWW als Basistechnologie für das Lernen	13
Abbildung 7. Individualität und Massentauglichkeit von Lernformen	16
Abbildung 8. Modularisierung in herkömmlichen CBT-Kursen	31
Abbildung 9. IMS Content Packaging	33
Abbildung 10. Aufbau ein IMS Manifests	34
Abbildung 11. SCORM als Kombination existierender Standards (aus SCORM Overview)	35
Abbildung 12. Funktionsblöcke des MTS	38
Abbildung 13. Entwicklungslinie MTS	40
Abbildung 14. MTS (DEDICATED)	40
Abbildung 15. Systemarchitektur IDEALS-MTS	41
Abbildung 16. Lernmaterialkategorien und Expertisenebene	42
Abbildung 17. Basic Building Block	44
Abbildung 18. Autorenwerkzeug für Course Nodes	47
Abbildung 19. Verfügbarkeit von Netscape-Plugins (Stand Januar 2002)	49
Abbildung 20. Teilstrukturen in Course Nodes	50
Abbildung 21. Rolle der Metadaten im MTS Content Aggregation Modell	53
Abbildung 22. LMO-Dateien in DEDICATED	54
Abbildung 23. Der LMO Editor	54
Abbildung 24. MTS-Tag für eine direkte Referenz	60
Abbildung 25. Beispiel MTS-Tag für virtuelle Referenzen	60
Abbildung 26. Auflösen von Referenzen in einer LFU	62
Abbildung 27. Auflösen von Referenzen zur Kurslaufzeit bei verzögertem Zugriff	63
Abbildung 28. Vergleich Ladeverhalten LFUs	64
Abbildung 29. Multipart und zusammengesetztes Lernmaterial	66
Abbildung 30. Materialzugriff und involvierte Komponenten	67
Abbildung 31. Optimierter Zugriff auf Lernmaterial	68
Abbildung 32. Lernmaterialdatenbanktabellen	69
Abbildung 33. HTML-konforme Referenzen in einer Lerneinheit	70
Abbildung 34. Eine virtuelle Referenz bei Verwendung einer Auslagerungsdatei	71
Abbildung 35. HTML-Code für eine Lerneinheit bei Verwendung von Pseudoprotokollen	72
Abbildung 36. HTML-Code für eine Lerneinheit bei Verwendung von Pseudo-URLs	72
Abbildung 37. Vorbedingung	76
Abbildung 38. MTS Life-cycle Modell für Lernmaterial	77
Abbildung 39. Kursstruktur und Kurszustand	85
Abbildung 40. Beispiel IDEALS Kurslaufzeitumgebung	86
Abbildung 41. Vergleich Wachstum Copyrightindustrie mit übriger Wirtschaft	108
Abbildung 42. Der Schüler als potentielles Sicherheitsloch	122
Abbildung 43. Schutzmechanismen	123
Abbildung 44. Vorgehensweise bei Encryption-Enforcement	124
Abbildung 45. Funktionsweise Encryption-Enforcement	125
Abbildung 46. Funktionsweise Netzwerkfilter	126
Abbildung 47. VPN-Komponente	127
Abbildung 48. Berechnung der Nutzdaten für das öffentliche Server-Wasserzeichen	128
Abbildung 49. Benutzer-Wasserzeichen	128
Abbildung 50. Verwendung von digitalen Wasserzeichen	129
Abbildung 51. Aufwandsabschätzungen für die unterschiedlichen Testformen	144
Abbildung 52. Vergleich Aufwände der unterschiedlichen Testformen	145

Abbildung 53. Vergleich Einsatzgebiete der Testformen	150
Abbildung 54. Phasen eines Tests	152
Abbildung 55. Testauslieferung	153
Abbildung 56. Testdurchführung	153
Abbildung 57. Testbewertung.	154
Abbildung 58. Zeitliches Verhalten bei Auslieferung von Tests	155
Abbildung 59. Systemarchitektur Testframework	159
Abbildung 60. Auslieferung von Testmaterial	160
Abbildung 61. Sichere Testauswertung	162
Abbildung 62. Behandlung eines Testereignisses	163
Abbildung 63. Erzeugung von semantischem Feedback	164
Abbildung 64. SME-Szenario	168
Abbildung 65. IHE-Szenario	170
Abbildung 66. Ausmaß der Wiederverwendung im IHE-Szenario	171
Abbildung 67. Der WatermarkSpotter	174
Abbildung 68. Downloadverhalten	177
Abbildung 69. Beispiel Multiple-Choice-Test	182
Abbildung 70. Color-Picker-Test	184

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.	Beispiele der Realisierung der Lernzyklusfunktionen	7
Tabelle 2.	Clientseitige versus serverseitige Realisierung von Komponenten	16
Tabelle 3.	Vergleich Offline- und Onlinedistribution	26
Tabelle 4.	Lernmaterialkategorien in den verschiedenen Ansätzen.	44
Tabelle 5.	CtrlPanel API: Kommunikation LFU mit MTS Kursablaufsteuerung	46
Tabelle 6.	SCORM: SCO to LMS Communication API.	46
Tabelle 7.	Inhaltliche Klassifikationsmerkmale für Lernmaterial.	53
Tabelle 8.	Verweisarten in Lernmaterial und deren Verwendung.	67
Tabelle 9.	Vergleich der Lösungsmöglichkeiten Referenzen HTML-kompatibel darzustellen	73
Tabelle 10.	Benutzerprofileinträge (organisatorische Ebene)	82
Tabelle 11.	Benutzerprofilfunktionen (inhaltliche Ebene)	82
Tabelle 12.	Erweiterung des CtrlPanel API für Suspend/Resume	87
Tabelle 13.	Umsätze im Bereich IT-basiertes Training	108
Tabelle 14.	Wahrscheinlichkeiten n Bits korrekt einzulesen.	130
Tabelle 15.	Digest-basierte Attribute	131
Tabelle 16.	Semantische Attribute	133
Tabelle 17.	Sicherheitsansprüche versus Laufzeitansprüche	135
Tabelle 18.	Aufwand Lehrer für n Tests	142
Tabelle 19.	Aufwandsnäherungen	143
Tabelle 20.	Vergleich Testformen	149
Tabelle 21.	Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Testformen	149
Tabelle 22.	Übersicht Funktionsblöcke beim Testen.	151
Tabelle 23.	Umsetzung der abstrakten Funktionsblöcke im Testframework.	165
Tabelle 24.	Erstelltes Lernmaterial im SME-Szenario	168
Tabelle 25.	MTS-Tags für die unterschiedlichen Arten von Lernmaterial.	193
Tabelle 26.	Umsetzung Course Node Selbstbeschreibung auf LOM.	195
Tabelle 27.	Umsetzung Function Unit Selbstbeschreibung auf LOM.	196

Definitionsverzeichnis

In dieser Arbeit werden folgende Definitionen verwendet:

Definition 1: Als Lernumgebung wird eine Umgebung bezeichnet, die den in Abbildung 2 gezeigten Lernzyklus realisiert. In einer Lernumgebung findet man die folgenden Funktionen: Bereitstellung und Erschließung von Lernressourcen, Verwendung der Lernressourcen zur Aneignung von Wissen (Lernen), Bewertung des Lernerfolgs eines Schülers und Steuerung der Wissensvermittlung. [Seite 8]

Definition 2: Ein Lernsystem ist ein Softwaresystem, das es erlaubt, einem Schüler multimediale und interaktive Inhalte als Lernressourcen zur Verfügung zu stellen. Ein Lernsystem realisiert folgende Funktionen: Bereitstellung und Erschließung von Lernressourcen, Bewertung des Lernerfolgs eines Schülers und Steuerung der Wissensvermittlung. [Seite 8]

Definition 3: Unter einem WWW-basierten Lernsystem verstehen wir ein Lernsystem, bei dem der Zugang des Schüler auf die Lernressourcen mit den Mechanismen und Formaten des WWW realisiert wird. Gleiches gilt auch für andere lernspezifische Dienste. [Seite 8]

Definition 4: Das Zusammenfügen von Lernmaterial zu größeren Einheiten (Kursen), die als solche ausgeführt und weitergegeben werden können, wird als **Content Aggregation** bezeichnet. [Seite 13]

Definition 5: Lernmaterial sind jede Art von Ressourcen, die von einem Lernsystem dazu verwendet werden können, einem Schüler bestimmtes Wissen oder bestimmte Fähigkeiten zu vermitteln. Ihre Nutzung in einem Lernsystem setzt voraus, daß die Ressource durch zugehörige Metadaten erschlossen wurde. [Seite 25]

Definition 6: Ein Trainingsprovider ist eine Institution, die eine Lernumgebung gemäß Definition 1 betreibt. [Seite 25]

Definition 7: Unter **Lernmaterial** versteht man all die elementaren Bausteine, aus denen sich ein Kurs zusammensetzt. In MTS gibt es für jede der drei Lernmaterialebenen eine eigene Kategorie von Lernmaterial, das der speziellen Sichtweise der jeweiligen Ebene entspricht. MTS-Lernmaterial ist modular und enthält neben den eigentlichen Nutzdaten auch die zugehörigen Metadaten. [Seite 42]

Definition 8: Ein **Lernobjekt** ist eine Gruppe von logisch zusammengehörigen multimedialen Elementen, die zusammen die komplette Darstellung eines bestimmten Inhalts oder eine bestimmte Funktionalität der Benutzungsschnittstelle realisieren. [Seite 42]

Definition 9: Eine **Lerneinheit** beschreibt, wie sich eine grundlegende Funktionalität der Wissensvermittlung für einen bestimmten Lernschritt realisieren läßt. Dazu spezifiziert die Lerneinheit die Anordnung (Layout) und das Zusammenspiel (Interaktion) der in der Lerneinheit verwendeten elementaren Lernmaterialien (Lernobjekte) untereinander und mit dem Schüler. [Seite 43]

Definition 10: Ein **Lernstrukturelement** beschreibt eine Abfolge von Lerneinheiten und Lernstrukturelementen, mit der sich ein bestimmtes Lernziel vermitteln läßt. Durch Lernstrukturelemente, die in anderen Lernstrukturelementen verwendet werden, lassen sich untergeordnete Lernziele repräsentieren. [Seite 43]

Definition 11: Ein Lernstrukturelement repräsentiert dann einen **Basic Building Block**, wenn durch die Ausführung dieses Lernstrukturelements einem Schüler auch dann noch alle für ein bestimmtes Abstraktionsniveau relevanten Aspekte vermittelt werden, wenn alle in ihm verwendeten (referenzierten) Lernstrukturelemente weggelassen werden. [Seite 45]

Definition 12: Lernmaterial ist immer ein Paar aus Selbstbeschreibung (Metadaten) und den eigentlichen Materialdaten. Die Materialdaten enthalten die Informationen, die zur Darstellung des Lernmaterials benötigt werden, während die Metadaten Auskunft geben über die Fähigkeiten und den Verwendungszweck des Lernmaterials. [Seite 52]

Definition 13: Eine **Selbstbeschreibung** ist eine Menge von Attributen, die die für die Durchführung des Lernens relevanten Eigenschaften eines Lernmaterials beschreibt. Jedes Attribut wird als ein Paar aus Attributname und Attributwert repräsentiert. [Seite 53]

Definition 14: Eine Referenz ist ein Element der Lernmaterialbeschreibung und enthält die Information, die es dem Kurslaufzeitsystem erlaubt zu entscheiden, welches Lernmaterial an einer bestimmten Stelle in Kursverlauf verwendet werden soll. [Seite 57]

Definition 15: In MTS ist jedem Lernmaterial genau ein global eindeutiger **logischer Name** zugeordnet. Dieser Name ändert sich auch nicht, wenn das Lernmaterial weitergegeben und auf anderen Servern bereitgestellt wird. [Seite 58]

Definition 16: Ein Local Training Center (LTC) ist eine selbständige administrative Einheit, die ein MTS-System betreibt. Neben den technischen und menschlichen Lernressourcen stellt es auch die administrativen Ressourcen (z.B. Benutzerverwaltung) bereit, die für den Betrieb eines MTS-Systems notwendig sind. Das Erstellen und die Bereitstellung von Lernmaterial sind die zentralen Aufgaben eines LTCs. [Seite 59]

Definition 17: Lernmaterial, das intern aus mehreren logisch zusammengehörigen Einzelteilen besteht, aber auf das über einen logischen Namen so zugegriffen werden kann, daß es für den Benutzer transparent ist, daß sich das Lernmaterial aus unterschiedlichen Teilen zusammensetzt, wird als **zusammengesetztes Lernmaterial** bezeichnet. [Seite 65]

Definition 18: Unter einem Lernmaterial versteht man in MTS eine Gruppe logisch zusammengehörender Dateien oder anderer WWW-Ressourcen, die zusammen ein Lernstrukturelement, eine Lerneinheit oder ein Lernobjekt bilden und durch einen Satz von Attributen (Metadaten) beschrieben werden. Jedes Lernmaterial kann über einen logischen Namen angesprochen werden. Lernmaterial ist modular aufgebaut, und jede Gruppe muß in sich abgeschlossen sein (Vollständigkeit). [Seite 66]

Definition 19: Eine **intelligente Referenz** ist ein Paar aus einer Liste von statischen und dynamischen Referenzen und einer Auswahlstrategie. Die Auswertung der Liste der Referenzen ergibt eine Menge von Lernmaterialien, die alle für die Verwendung in Frage kommen (Kandidaten). Die Auswahlstrategie legt fest, wie bei Bedarf ein Kandidat aus der Liste der Kandidaten ausgewählt wird. [Seite 74]

Definition 20: Die **Kursnavigation** umfaßt alle Elemente in der Benutzungsschnittstelle und die zugehörige Funktionalität in der Kurssteuerung, mit denen der Schüler den Kursverlauf innerhalb der vom Autor vorgegeben Möglichkeiten beeinflussen kann. [Seite 83]

Definition 21: Als **digitale Wasserzeichen** bezeichnet man Verfahren, mit denen sich zusätzliche Informationen so in Nutzdaten einbringen lassen, daß durch das Einbringen der Zusatzdaten die Wahrnehmung der Benutzer der eigentlichen Daten unverändert bleibt. [Seite 102]

Definition 22: Unter Lernerfolgskontrolle versteht man (zeitlich begrenzte) Maßnahmen, die es erlauben, den Lernerfolg eines Schülers bezüglich eines bestimmten Lernziels zu quantifizieren. [Seite 141]

Definition 23: Mit Trainings Service Provider (TSP) wird ein LTC bezeichnet, das Lernmaterial nicht selbst entwickelt, sondern nur Lernmaterial von anderen LTCs übernimmt. Ein TSP stellt lediglich die technischen und menschlichen Lernressourcen bereit und übernimmt die mit dem Lernen verbundenen administrativen Aufgaben. [Seite 167]

Definition 24: Ein einfacher Multiple-Choice-Test besteht aus einer oder mehreren Fragen, die der Schüler innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums zu beantworten hat. Jede Frage besteht aus der Fragestellung und einem Satz von vorgegebenen Antworten, aus denen der Schüler eine auswählen kann. Es ist allerdings auch zulässig, daß keine Antwort ausgewählt wird. Zu Beginn eines einfachen Multiple-Choice-Tests ist für keine der Fragen eine Antwort ausgewählt. Jeder Antwort ist eine feste Punktzahl zugeordnet und ebenso dem Fall, daß keine Antwort ausgewählt wurde. Die Auswertung eines einfachen Multiple-Choice-Tests erfolgt durch einfaches Aufsummieren der den ausgewählten Antworten zugeordneten Punktzahlen. Diese Auswertung erfolgt automatisch nach Ablauf des Zeitlimits. Das Ergebnis der Auswertung wird dem Schüler mitgeteilt. Außerdem bekommt er eine Erläuterung zu jeder ausgewählten Antwort. [Seite 178]

Index

A

Administration	39
AES	99
AICC	
<i>siehe Aviation Industry CBT Committee</i>	
Aktionsliste	161
Angriff	
chosen plaintext attack	99
denial of service attack	21
man in the middle attack	99
ARIADNE	33
ARIADNE Foundation	33
Ausweis	104
Auswertung	39
Authentisierung	103
durch Besitz	104
durch biometrische Verfahren	105
durch Wissen	103, 104
Aviation Industry CBT Committee	32

B

Basic Building Block	43, 44
Benutzerprofil	39, 120
Biometrie	105
Blackbox-Konzept	32
Bork, Alfred	11, 190

C

CDL	81
<i>siehe Course Description Language</i>	
Center for LifeLong Learning and Design	11
Challenge-Response Protokoll	104
Chiffren	
asymmetrische Chiffren	99
symmetrische Chiffren	98
Chipkarte	104
Chosen plaintext attack	99
CIPRESS	172
CMI	
<i>siehe Computer-Managed Instruction</i>	
ColorPicker-Test	183
Competency gap analysis	75
Computer-Managed Instruction	32
Content Aggregation	13
Content Aggregation Modell	32
Content Server	124
Control Panel	61, 85
Course Description Language	47
Course Node	46

D

DEDICATED	40, 54
DES	98
Design Pattern	75, 183
Digitales Wasserzeichen	91, 102
Direkte Referenz	59
Doppeldiplom	188
DRef	59, 60
DRef-Attribut	59

E

Elektronische Signatur	101, 117
Entwurfzustand	77
EU-Projekt	
ARIADNE	33
ARIADNE II	33
DEDICATED	40
IDEALS	41, 167
Talisman	176
Exception	51
Exploration	43

F

Feedback	
Semantisches Feedback	152
Syntaktisches Feedback	152
Firewall	117
Fischer, Gerhard	11, 190
Funktionsblöcke einer Lernumgebung	38

G

Generic Learning Support Layer	40
Generisches Lernmaterial	28
GIF	31
Gift-Wrapping-Approach	11
GLSL	
<i>siehe Generic Learning Support Layer</i>	
Gnutella	112
GRIS	37

H

HTML-I	45, 69
HTTP	71
<i>siehe Hypertext Transfer Protocol</i>	
Hyperlink	31
Hypertext Transfer Protocol	58

I

IDEALS	41
IDEALS MTS	167
IMS	
<i>siehe Instructional Management Systems Global Learning Consortium</i>	
Informationsgesellschaft	5
Instructional Management Systems Global Learning Consortium	33
Internet Explorer	48
ISO	34

J

JPEG	31
------	----

K

Key Center	123
Kopien	112
Kursablaufsteuerung	38
Kursbaum	85
Kursdarstellung	38
Kursnavigation	38, 83
Kursstack	85
Kurssteuerungsfunktionalität	45

L		O	
L3D		Offline-Distribution	25
<i>siehe Center for LifeLong Learning and Design</i>		Online-Distribution	25
Learning Function Unit	45, 59	Ostyn, Claude	47, 75
Lerneinheit	43, 45		
Lernerfolgskontrolle	112		
Lernmaterial			
Generisches Lernmaterial	28		
Multipart-Lernmaterial	66		
zusammengesetztes Lernmaterial	65		
Lernmaterialanforderung	68		
Lernmaterialbroker	67, 70		
Lernmaterialverwaltung	77		
Lernobjekt	45		
Lernschritt	12		
Lernstrukturelemente	43		
Lernumgebung			
Funktionsblöcke	38		
LFU			
<i>siehe Learning Function Unit</i>			
Life-cycle Modell	77		
LMO Datei	54		
LMO Editor	54		
Local Training Center	59, 167		
Logischer Name	58		
LOM	33, 54		
LTC			
<i>Siehe Local Training Center</i>			
M		P	
Makro	50	Paßwort	103
Man in the middle Angriff	99	PGP	
Manifest	33	<i>siehe Pretty Good Privacy</i>	
Mapper	70	PIN	104
Mapping	55	PKI	
Master Key	125	<i>siehe Public Key Infrastructure</i>	
Material Object	45	Plugins	
Materialablage	39	Verfügbarkeit	48
Materialauswahl	39	Präsentation	43
Materialerstellung	39	Pretty Good Privacy	100, 117
MD5	102	Proxy-Server	72
Mediatype	60	Prüfung	112
Mediatype-Attribut	60	Prüfungen	120
MO		Public Key Infrastructure	117
<i>siehe Material Object</i>			
Modulares Trainings System			
Evolution	40		
Modulares Trainingssystem	37		
Modularisierung	31		
Monte-Carlo-Methode	83		
MP3	22, 112		
MTS			
<i>siehe Modulares Trainingssystem</i>			
MTS-Tag	45, 59, 65		
Multiple-Choice-Test	141		
Musikindustrie	112		
N		Q	
Napster	22, 112	Quicktime	49
Nutzungsbedingungen	111		
Nutzungszustand	78		
		R	
		RealAudio	49
		Referenz	
		Definition	57
		direkte Referenz	59
		dynamische Referenz	57, 70
		Intelligente Referenz	74
		statische Referenz	57, 58, 70
		virtuelle Referenz	
		Registrierung	77
		Review	77, 80
		Reviewzustand	77
		RIJNDAEL	99
		RSA	99
		S	
		Schlüsselspeicher	134
		Secure Socket Layer	117
		Selbstbeschreibung	52
		SHA-1	102, 127
		Sicherheit	21
		<i>siehe auch Angriff</i>	
		Signatur	101
		SME-Szenario	167
		S-MIME	117
		SSL	100, 117
		T	
		Templates	28
		Test	43
		Testframework	158
		Training Service Provider	167
		Triple-DES	98
		TSP	167

U

Uniform Resource Locator	
<i>siehe URL</i>	
unmittelbarer Zugriff	61
Urheberrecht	26, 96, 108
Sekundäres Urheberrecht	97, 133
UrhG	96
URL	58
absolute URL	58
relative URL	58, 66

V

van Dam, Andries	1
Verschlüsselung	98, 99, 173
Verzögerter Zugriff	61
Virtuelle Referenz	
Virtuelle Universität	188
Virtueller Campus	8
Virtuelles Laboratorium	9
Virtuelles Privates Netzwerk	117, 126
Vorbedingungen	75
VPN	
<i>siehe Virtuelles Privates Netzwerk</i>	
VRef	60
<i>siehe Virtuelle Referenz</i>	

W

W3C	
<i>siehe World Wide Web Consortium</i>	
Wasserzeichen	127, 173
Digitales Wasserzeichen	91, 102
Wiederverwendung	12
Wiederverwendungsfaktor	143
Wiederverwertungsfaktor	171
Wissensgesellschaft	5
Wissensmodellierungsebene	12
Wissensrepräsentationsebene	13
Wissensvermittlungsebene	12
Wizard	28
World Wide Web Consortium	14

X

X.509	123
XML	46

Z

Zertifikat	104
------------	-----

Lebenslauf

Persönliche Daten

	Frank Graf
13 August 1965	geboren in Aschaffenburg als Sohn von Franz und Maria Graf

Ausbildung

1972 – 1976	Johannes Obernburger Grundschule, Obernburg
1976 – 1985	Hermann-Staudinger Gymnasium, Erlenbach Abschluß mit der Allgemeinen Hochschulreife
1985 – 1992	Informatikstudium an der TU Darmstadt
1991	Diplomarbeit als Austauschstudent an der Brown University, Providence, Rhode Island, USA
1992	Abschluß als Diplom-Informatiker an der TU Darmstadt

Beruflicher Werdegang

1992 -1998	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Darmstadt am Fachgebiet Graphisch Interaktive Systeme, Fachbereich Informatik.
1998 – 2002	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IGD, Darmstadt in der Abteilung 'Sicherheitstechnologie für Graphik- und Kommunikations- systeme'

